



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

NÁVRH A REALIZACE FOTODETEKTORU POMOCÍ PLATFORMY ARDUINO

DESIGN AND REALIZATION OF PHOTODETECTOR USING ARDUINO PLATFORM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Vrána

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Veverka

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
TECHNICKÉ A KOMUNIKAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Milan Vrána

ID: 173779 **Ročník:** 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a realizace fotodetektoru pomocí platformy Arduino

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Náplní této práce je návrh a realizace fotodetektoru (fotobrány) pro přesné měření vybíjecí charakteristiky elektroskopu. Data z fotodetektoru by měla být zpracována pomocí platformy Arduino a následně zobrazena na terminálu, případně vypsána do textového souboru. Předpokládá se i realizace šasi pro fotodetektor s použitím technologie 3D tisku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 31.5.2018

Vedoucí práce: Ing. David Veverka

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu a vytvoření měřicího zařízení založeném na fotodetektoru se sběrem dat. Tento měřicí přípravek je určen pro měření doby vybíjení elektroskopu. Celé zařízení je umístěno vně elektroskopu a všechna změřená data jsou odesílána za pomoci UART sběrnice do vytvořené počítačové aplikace. Slouží k zobrazení dat a jejich následnému uložení do textového souboru pro další zpracování.

KLÍČOVÁ SLOVA

Arduino, Arduino Nano, Processing, fotodetektor, optická závora, komunikace, UART, I2C, měření vlhkosti, měření teploty, počítačová aplikace, přerušení, časovač,

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with design and creating measuring device based on the photodetector with data acquisition. This measuring device is measured the discharge time of an electroscope. Whole device is placed into electroscope and all measured data are send via UART communication to computer application. This application used to display and save data into text file.

KEYWORDS

Arduino, Arduino Nano, Processing, photodetector, optical gate, communication, UART, I2C, interrupt, timer, application, temp measurement, humidity measurement, electroscope, 3D print

Bibliografická citace

VRÁNA, M. *Návrh a realizace fotodetektoru pomocí platformy Arduino*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 40 s. a 5 s. s přílohami Vedoucí bakalářské práce Ing. David Veverka

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Návrh a realizace fotodetektoru pomocí platformy Arduino jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Davidu Veverkovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

OBSAH

ÚVOD	1
1 WILHELM REICH A VÝZKUM ORGONU	2
2 ELEKTROSKOP	5
3 FOTODETEKTOR	8
3.1 Jednocestná optická závora.....	8
3.2 Reflexní optická závora	9
4 VÝVOJOVÁ PLATFORMA ARDUINO	10
4.1 ARDUINO NANO	11
5 VÝROBA KONSTRUKCE	12
6 HARDWAROVÁ ČÁST	14
6.1 Vysílače světelného paprsku.....	14
6.2 Detektor světelného paprsku.....	15
6.3 Senzor teploty a vlhkosti.....	16
6.4 Zdroj reálného času.....	17
6.5 Schematický návrh.....	17
6.6 Návrh DPS	21
7 Realizace řídicí desky	22
8 SOFTWAREOVÁ ČÁST	24
8.1 Inicializace	24
8.2 Měření doby vybíjení.....	26
8.3 Komunikace	27
9 POČÍTAČOVÁ APLIKACE	29
9.1 Příjem dat.....	30
9.2 Zobrazení dat	31
9.3 Textový soubor	32
10 OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ	33
ZÁVĚR	35

LITERATURA	36
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	38
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
A Návrh konstrukce zařízení	40
B návrh DPS řídicího modulu	41
B.1 Schéma řídicího modulu	41
B.2 Deska plošného spoje řídicího modulu – top (strana součástek)	42
B.3 Deska plošného spoje řídicího modulu – bottom (strana spojů).....	43
C Seznam součástek	44
D Tabulka změřených hodnot měření vybíjení elektroskopu	45

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem, realizací a ověřením správné funkce návrhu fotodetektoru. Navrhovaný fotodetektor je realizován za využití otevřené platformy Arduino. Arduino je otevřená platforma založená na rodině mikrokontrolérů ATmega. Díky tomu, že jak hardware, tak i software jsou distribuovány pod licencemi open-source, se tato platforma stala určitým standardem v oblasti jednodeskových počítačů. Často se používá například pro řízení jednoduchých robotů a dronů. V rámci tohoto projektu je využito pro zpracovávání signálů ze senzorů a zajištění výpočtů na základě signálů z optických bran spouští a měření klimatických podmínek, jako jsou teplota a vlhkost.

Konstrukce fotodetektoru bude určena pro měření doby vybití školního, resp. Koelbeho elektroskopu. Fotodetektor není určen pro kontinuální měření vybíjení elektroskopu, ale pouze na detekci dvou bodů výchylky elektroskopu na základě průchodu mezi těmito zvolenými body výchylky, je změřena doba vybíjení elektroskopu.

Získaná data jsou následně ukládána za pomoci komunikace s počítačovou aplikací po sériové lince. Spolu s aplikací, která se stará o zobrazení a ukládání dat je komunikováno po celou dobu funkce měřícího zařízení. Počítačová aplikace je vytvořena za pomoci platformy Processing. Ta slouží k zobrazení a uložení dat. Data jsou po ukončení měření uložena do textového souboru.

Celé zařízení má být dle zadání vytvořeno za pomoci 3D tisku, avšak během experimentů a konzultací, zabývajících se nabíjením a vybíjením elektroskopu s a bez zařízení bylo zjištěno, že tato koncepce není zcela správná z pohledu ovlivnění elektroskopu. Proto byli zkoušeny i jiné materiály jako kov, tenká deska FR4, různé plastické hmoty a umístění zařízení uvnitř nebo mimo elektroskop.

Zařízení pro měření doby vybíjení elektroskopu je realizováno tak, aby mohlo být využito i v rámci měření potřebného v disertační práci Ing. Veverky. Toto měření vybíjení elektroskopu je třeba provést pro ověření jedné z hypotéz o orgonové energii. Touto hypotézou je myšlena existující anomálie v akumulátoru orgonové energie. Tato anomálie vyskytující se uvnitř akumulátoru orgonové energie má způsobit změnu vybíjecí charakteristiky elektroskopu.

1 WILHELM REICH A VÝZKUM ORGONU

Wilhelm Reich byl rakousko-americký psychiatr a psychoanalytik. Narodil se v roce 1897. Vystudoval univerzitu ve Vídni, kde získal titul Doktor. Několik let spolupracoval se Sigmundem Freudem, se kterým spoluvytvářel obor psychoanalytiky. Patřil do druhé generace psychoanalytiků. Ve svých pracích se často zabýval tématem vlivu sexuality na psychiku člověka. Díky tématice jeho práce a především psychoterapii, kterou prováděl na základě svých poznatků, se dostal do sporu s psychoanalytickou společností. Tento spor nebyl jen kvůli jeho rozporuplné práci, ale také díky jeho politickému přesvědčení. Jeho komunistické cítění ve společnosti vznikajícího nacismu se vyjevilo jako osudové.



Obrázek 1 Wilhelm Reich [3]

Z těchto důvodů spolu s jeho židovským původem musel odejít z psychoanalytických kruhů a byl nucen emigrovat z Německa. Dál se věnoval psychologii a psychoanalýze ve svém vlastním výzkumu, ve kterém pokračoval v době, kdy přebýval ve Švýcarsku a Švédsku. Během své následující praxe a výzkumu navázal dalším zkoumáním emocí lidí. Tento výzkum byl založen na základě zkoumání projevů emocí na lidském těle. Kdy experimentoval s měřením velice přesnými milivoltmetry na lidském těle zjistil změny potenciálu na lidské kůži při různých emocích. Při tomto měření zjistil skutečnost, že při příjemných pocitech byl potenciál měřený na lidské kůži větší než potenciál na lidské kůži při negativních pocitech.

Díky tomuto objevu byl Reich schopen dokázat přímou spojitost mezi vnitřními emotivními podněty v těle a fyzickými projevy. Z těchto pokusů usoudil, že energie v těle se při pozitivních emocích pohybuje směrem k povrchu těla, organismus se roztahuje do prostoru. V opačném případě se energie stahuje do centra organismu. Další objevenou zvláštností byla rychlost těchto změn. V porovnání s normálním chováním elektromagnetické energie se změny v potenciálu projevovaly velmi pomalu a měly vlnový charakter [1].

Tyto poznatky ho vedly k pokračování výzkumu tohoto jevu u jednodušších forem života. V rámci pozorování jednodušších forem života, jakými jsou například bakterie, došel k výslednému objevu, že tyto konají stejné pohyby jako lidské tělo. Při pozorování jednodušších forem života při velmi vysokém zvětšení mikroskopem (3000x a více) vypožadoval, že při specifických podmínkách se organické i anorganické látky rozkládají na částice převážně modré barvy. Tyto částice se nepohybovaly pouze ve vztahu k sobě, což by naznačovalo jednoduchý Brownův pohyb, ale docházelo u nich i k vnitřní pulzaci, kterou tímto jevem nelze vysvětlit. Tyto částičky se formovaly jak ve sterilních, tak nesterilních roztocích za velmi krátký čas, což dále vylučovalo infekci vzdušnými bakteriemi. [3]

Po dalším výzkumu došel k závěru, že se jedná o formu energie vesmírného původu. Tuto energii v literatuře nazýval jako organovou energii, částice nazýval biony. Při výzkumu, kdy se pokoušel o oddělení bionů z materiálu, objevil skutečnost, která rozdělila materiál, resp. látky na dva druhy. Toto rozdělení plyne z chování materiálu k bionovým částicím. Jedním typem materiálu byly částice akumulované. Těmito materiály jsou například ovčí vlna, plasty na základě akrylu nebo styrenu, včelí vosk atd. Druhým typem materiálu je typ odpuzující bionové částice. Těmito materiály jsou především slitiny železa. Na základě těchto objevů byl konstruován speciální akumulátor. Akumulátor je zkonstruován jako dutá krabice, jejíž stěny jsou konstruovány z vrstev, v nichž se střídá dvojice materiálů akumulujících a odpuzujících biony, respektive organovou energii.

Uvnitř takto zkonstruovaného akumulátoru se podle teorie vyskytuje několik anomálií, které způsobuje právě zvýšená koncentrace organové energie v prostředí uvnitř akumulátoru. Těmito anomáliemi vyskytujícími se uvnitř akumulátoru jsou:

- rychlejší vybíjení elektroskopu uvnitř akumulátoru
- konstantní rozdíl mezi teplotou uvnitř akumulátoru a mimo akumulátor organové energie

Wilhelm Reich využíval v rámci své psychiatrické praxe pobyt v tzv. organové komoře. Ten měl mít vliv nejen na psychiku člověka, ale i na mnohé jiné zdravotní problémy. Tuto část své práce nejvíce rozvíjel při svém pobytu v Americe, kam musel odejít po neshodách s odborníky ve Švédsku a s celkovou změnou situace v zemi. Výzkum vlivu organu v organové komoře tedy pokračoval v Americe s určitými kladnými i zápornými výsledky. Avšak pouze do doby, než se o výzkum začal v záporném pojetí zajímat federální úřad kontrolující léčiva a potraviny. Tento úřad na základě několika článků a svědectví o organových komorách rozhodl o předběžném zákazu prodeje organových komor a dalšímu komerčnímu využívání. [3]

Veškerý další výzkum byl tedy ilegální, ale pokračoval. Ubíral se však i jinými směry než organovou terapií a začal se zabývat působením organu na přírodní jevy. Podle jeho teorie je v místě srážek zvýšená koncentrace organové energie.

Podle této teorie tedy sestrojil zařízení, které usměrňuje tok organové energie tak, aby vzniklo vřídlo energie a toto pak vytvoří ideální podmínky pro vznik oblačnosti. Avšak po zákazu prodeje došlo k porušení příkazu jedním ze studentů Wilhelma Reicha a na jeho základě byl Wilhelm Reich zatčen a uvězněn. V rámci jeho uvěznění bylo rozhodnuto o zničení všech dokumentů o výzkumu organové energie. Ve vězení Wilhelm Reich zemřel.

I když se tématu organu dále věnuje a věnovalo mnoho vědců, je toto téma zahaleno množstvím nekorektních informací a pomluv, které interpretaci jeho výzkumu ztěžují.

Velký úděl na tom má i skutečnost převzetí mnoha jeho poznatků různými mystiky a léčiteli. To, jak byli výsledky výzkumu Wilhelma Reicha tímto způsobem využity je mírně zarážející, přes skutečnost, jakými způsoby byl výzkum orgonu prováděn. Avšak díky zničení mnoha materiálů o jeho výzkumu se staly mnohé teorie základem mýtů. Publikované teorie, byly vždy podloženy experimenty a pozorováními autora a jeho následovníků. [2]



Obrázek 2 Orgonová komora [4]

2 ELEKTROSKOP

Elektroskop nebo elektrometr je přístroj sloužící k detekci a měření elektrického náboje. Pro detekci nebo měření elektrického náboje s pomocí elektroskopu existují dva základní principy. Prvním často používaným principem je využití sil vyvolaných elektrickým polem. Toto pole vyvolá přítomnost náboje na materiálu, resp. vzorku přiloženém k elektrodě elektroskopu. Tento princip využívá Coulombových sil mezi náboji na částech elektroskopu. Tento princip využívá například nejjednodušší elektroskop tzv. lístkový elektroskop. Síly vznikající mezi náboji lze popsat za pomoci rovnice (1):

$$F = q \cdot E \text{ [N]} \quad (1)$$

Nebo po vyjádření velikosti intenzity elektrostatického pole (2):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{R^2} \text{ [N]} \quad (2)$$

Lístkový elektroskop je v nejjednodušší formě složen z elektrody a dvou lístků kovové folie spojených s elektrodou a přiložených k sobě. Pokud si tyto dvě folie představíme jako dva bodové náboje, tak platí rovnice (2) pro sílu, kterou vyvolá náboj přiložený k elektrodě umístěné mezi lístky folie.

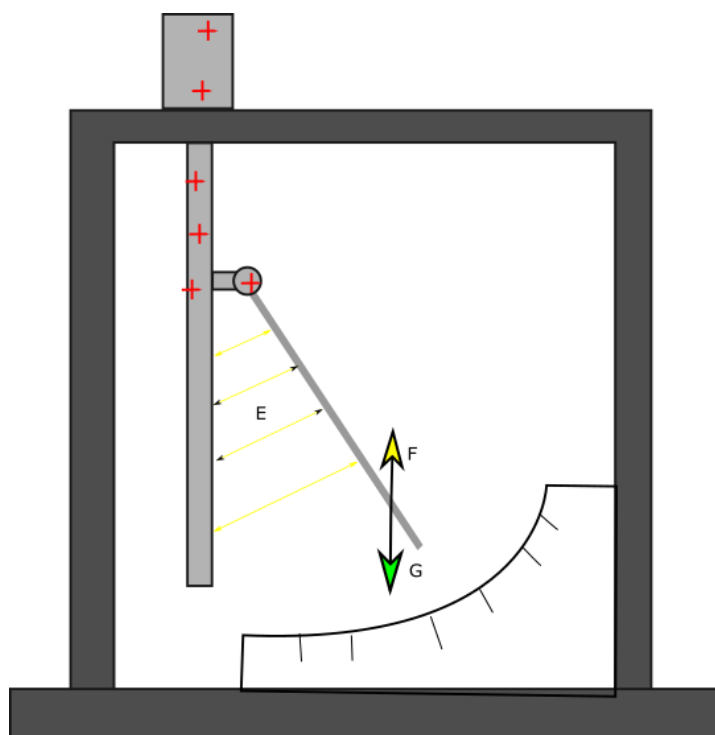
Tato síla má odpuzivý charakter díky stejné polaritě nábojů, kterými byli lístky folie nabitý. Velikost výchylky je potom přímo úměrná velikosti síly působící na folie. Rovnovážný stav lístku ve výchylce je způsoben vektorem tíhové síly působícím ve svislém směru a protiběžné svislé složce Coulombovy síly působící na lístek.

Druhým principem, který je užíván v moderních elektrometrech je využití polem řízeného tranzistoru jako detektoru náboje. Polem řízený tranzistor při přiložení náboje na jeho hradlo je přiškrcen, resp. otevřen vodivý kanál. Podle zesílení tranzistoru zesílí rozdíl potenciálů mezi nábojem přiloženým na měřicí elektrodě proti jinému známému potenciálu, a to na měřitelnou úroveň. I když jeho výhodou oproti prvnímu principu měření elektrického náboje je větší citlivost a možnost sestavit elektrometry pro velice malé náboje, tento princip elektroskopů má jednu nevýhodu, a sice citlivý elektrometr založený na polem řízeném tranzistoru je náchylný na proražení citlivého hradla tranzistoru. Proto je tento typ vhodný pro známější a malé náboje.

V případě této práce se jedná o jiný úkol pro elektroskop. Ze zadání práce je jasné, že nebude určen pro zjišťování přítomnosti nebo velikosti náboje přiloženého k elektrodě elektroskopu, ale bude měřena doba, za jakou se náboj z elektroskopu vybije. K tomuto úkolu jde použít obou principů, avšak v případě prvního principu elektroskopického měření je tento úkol relativně jednodušší, pokud vymezíme určité podmínky. Těmito podmínkami je myšleno, kdy je elektroskop nabit a vybit.

V rámci této práce je pracováno s Koelbeho elektroskopem. Tento elektroskop je zdokonalenou formou lístkového elektroskopu. Od lístkového elektroskopu se liší nejen formou elektrodového systému, ale také relativní známostí rozložení polí uvnitř po přiložení náboje na elektrodu. Z tohoto důvodu je možné, aby měl tento elektroskop cejchovanou stupnici udávající relativní velikost náboje. Za běžných podmínek je

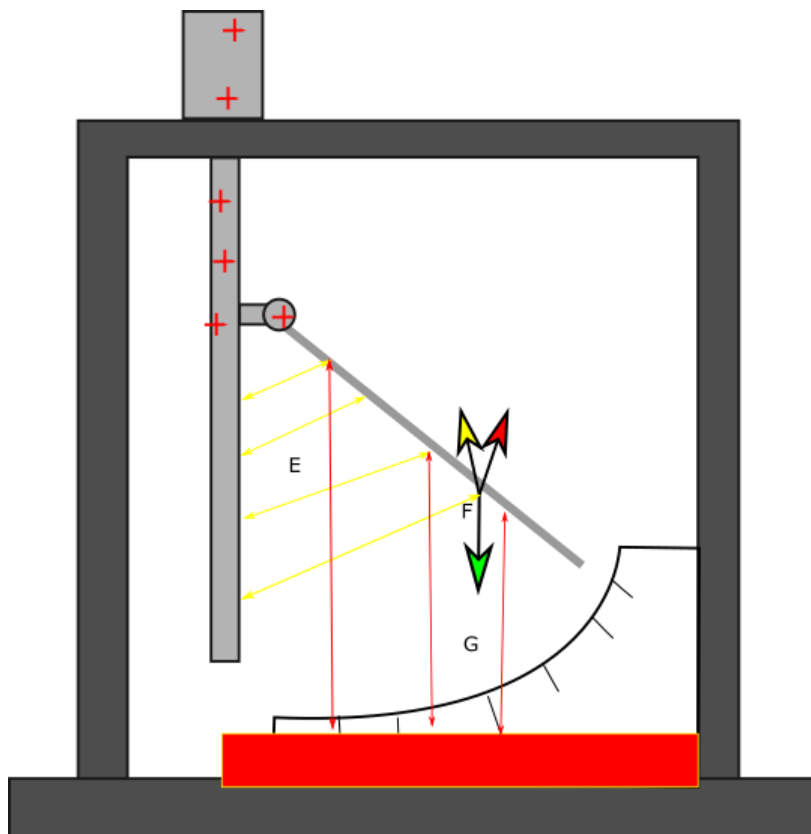
v Koelbeho elektroskopu po nabití možné pozorovat podobný případ rozložení sil jako je na obrázku. 3.



Obrázek 3 rozložení sil v elektroskopu běžný stav

Síla F , vyvolávající výchylku ručičky elektroskopu, vzniká působením elektrostatického pole mezi ručičkou a elektrodou. Proti této síle působí dvě síly, které jsou sečteny v síle F . První z těchto sil je síla tíhová vyvolaná vahou ručičky. Druhá síla je vyvolaná elektrostatickým polem mezi obalem a ručičkou elektroskopu. Tato síla má však proměnný charakter působnosti a velikosti vzhledem ke skutečnosti, že rozložení intenzity elektrostatického pole není homogenní a náboje se od sebe různě vzdalují vzdálenosti, která se mění. S výchylkou ručičky je možné pozorovat také to, že se tato síla při normálním stavu elektroskopu je téměř eliminována díky jejímu působení ze dvou směrů. Ode dna elektroskopu a od strany proti ručičce je také díky relativně velké vzdálenosti síla malá už jen kvůli skutečnosti, že v ideálním případě je na obalu potenciál blízký nule, tedy množství náboje účastnícího se na vytvoření pole je poloviční. Proto už z tohoto důvodu, i kdyby byla vzdálenost shodná, je síla vyvolaná tímto polem poloviční.

Pokud však na obal elektroskopu dáme aparát z plastických hmot, které často bývají elektricky polarizovatelné, může dojít k naakumulování náboje z okolí během vybíjení nebo nabíjení tento náboj, který vyvolává pole mezi obalem a ručičkou elektroskopu, spolu s polem vzniká i síla působící na ručičku. Dochází tak k nelinearitám v pohybu ručičky elektroskopu vlivem rozdílného vybíjení elektroskopu a jeho elektrodového systému.



Obrázek 4 elektroskop s vloženým izolantem

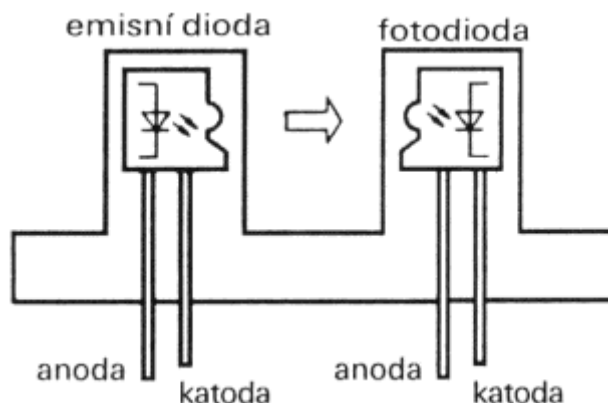
3 FOTODETEKTOR

Fotodetektor je zařízení tvořené polovodičovým p-n přechodem, na který je umožněn dopad toku fotonů. Díky dopadu fotonů do oblasti P-N přechodu převádí tok fotonů na tok elektronů, který vyvolává změnu napětí na P-N přechodu, nebo velikost procházejícího proudu skrze P-N přechod. Kdy jeden dopadající foton vytvoří pár elektron-díra. Z principu funkce je tedy možné vyčíslit určení pro detekci intenzity světelného záření. Avšak pojem detekce světelného záření nebo jeho intenzity je velmi obecným pojmem a můžeme si pod ním představit mnoho zařízení. Za pomoci fotodetektorů můžeme měřit intenzitu záření nebo vyhodnocovat spektrum tohoto záření a zjišťovat např. barvu povrchu, od kterého se záření odráží a mnohé další.

Jedním z možných dalších využití fotodetektoru je zjištění přítomnosti objektu. Vyhodnocení přítomnosti objektu v určité oblasti je realizováno za pomoci existence směřovaného zdroje světla a detektoru dopadajícího záření. Samotná realizace však může být principiálně dvojího typu. Tyto dva typy se liší umístěním optického detekčního prvku a vysílače a z toho plynoucího typu vyhodnocovaného světelného paprsku. Takovým zařízením se říká optické závory nebo brány.

3.1 Jednocestná optická závora

Jednocestná optická závora je elektronické optické zařízení sloužící k vytyčení prostoru, respektive k detekci objektu v určitém prostoru. Optická závora je uspořádání detekčního a vysílače optického prvku tak, aby na sebe navzájem viděli. Z tohoto důvodu tvoří vysílaný optický paprsek neviditelnou překážku pro objekt. Jako vysílač paprsku je často využito zdroje světla s velkou směrovostí světla jako jsou laserové diody. Při průchodu objektu skrze paprsek světla je vytvořen stín na detekčním prvku, který na základě dalšího zpracování, to je závislé na další konstrukci, uvede výstup do stavu odpovídající detekci objektu. Jednocestné optické závory se využívají v oblastech, kde je důležité vymezit nebezpečné prostory, v zabezpečovací technice nebo pro určování



Obrázek 5 jednocestná optická závora [8]

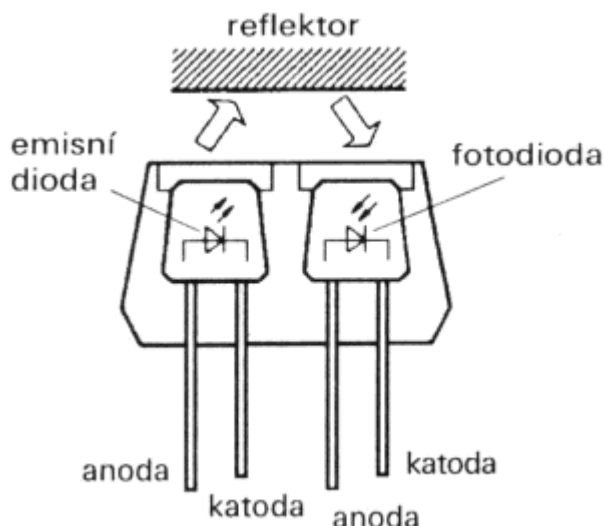
polohy bez dotyku nebo jiného ovlivnění objektu. Pro jiné typy snímačů může být problematické některé objekty detekovat, především pokud jsou tvořeny různými

materiály. V případě jednocestných optických závor je toto omezeno již jen překážkami, které plynou ze způsobu zástavby zařízení do konkrétní aplikace. Optické závory se vyrábějí v mnoha různých provedeních s digitálním nebo analogovým výstupem [5].

3.2 Reflexní optická závora

Druhý typ optické závory využívá k detekci objektu odraženého světla od objektu. Tedy vysílaný paprsek ze zdroje je detekován až po odrazu od objektu. Svým principem je proto možné nejen využít tento typ závory jen k detekci průchodu objektu, ale také například ke změření vzdálenosti od vysílače. Reflexní optická závora díky detekci odraženého světla při použití často naráží na jeden zásadní problém, a to je odrazivost materiálů, od kterých je paprsek odražen, ale také mnohé jiné. Jako příklad uveďme plochu, rovnoběžnost odrazné plochy a celkově hrubost povrchu. Všechny tyto parametry odrazné plochy ovlivňují množství světla, které je odraženo směrem do detektoru. Díky tomu je tedy možné detekovat pouze relativně větší objekty a především objekty, které jsou relativně blízko detektoru. Například reflexní optočlen firmy Vishay CNY70 může detekovat objekty ve vzdálenosti maximálně 5 mm, avšak u prvků užívaných v průmyslu se může jednat i o několik desítek milimetrů [6].

Tyto dva typy optických závor se podle trendu dnešní doby také vyvíjejí a již nejsou užívány jen k prosté detekci objektu, ale je možné jimi relativně přesně změřit i rozměry objektu. Toho je dosaženo kombinací obou typů závor pro měření v příčném směru objektu, pro ostatní směry je to přepočtem mezi rychlostí pohybu a dobou přerušení. Pokud jsou ale kombinovány tyto dva typy optických závor, je možné je také využít pro přenos dat.



Obrázek 6 reflexní optická závora [8]

4 VÝVOJOVÁ PLATFORMA ARDUINO

Jedním z hlavních prvků projektu je vývojová platforma Arduino. Platforma Arduino je vývojová platforma pro elektroniku založená na jednodeskových počítačích. Samotný projekt je dílem Mansi Banzinho a Davida Cuartielle. Tento projekt původně vznikl, podobně jako mnoho jiných, pro rozšíření elektroniky a techniky do škol. Vedlejším produktem byl vznik velké komunity mezi amatérskými elektroniky a programátory, kteří za pomoci Arduino tvoří mnoho zajímavých projektů.

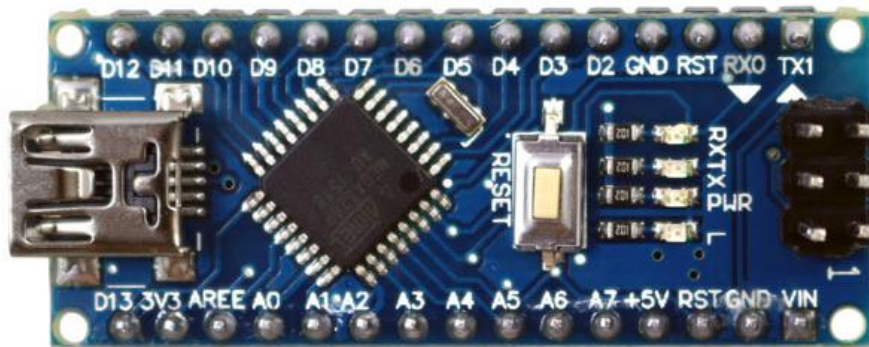
Pod samotnou platformou Arduino je možné si představit dvě hlavní věci. První je existence jednodeskových počítačů. Tyto jednodeskové počítače obsahují většinou některý z rodiny mikrokontrolerů Atmel ATmega s nutným hardwarem pro jeho provoz (krystalový oscilátor, stabilizované zdroje napětí pro úrovně (5 V a 3.3 V) a v neposlední řadě převodník pro komunikaci s počítačem mezi USB a UART. Těchto jednodeskových počítačů existuje v dnešní době celá řada. Liší se od sebe především rozměry, použitým mikrokontrolérem a z toho plynoucím počtem vstupně výstupních pinů, jak digitálních, tak analogových. Na převážné většině desek se objevují mikrokontrolery Atmel, u základních desek jako je UNO, NANO, LILYPAD, ... se jedná o mikrokontroler ATmega 328P nebo 168P. U dalších desek jako je MEGA se jedná o mikrokontroler ATmega 2560 nebo další specializovanější či výkonnější mohou mít procesory Atmel rodiny SAM nebo INTEL EDISON, případně u nejnovějších jednodeskových počítačů Arduino se jako mikrokontroler využívá integrovaného komunikačního obvodu ESP8266 pro využití v IOT projektech. [7]

To, čím se odlišuje Arduino od mnoha jiných podobných projektů, je existence vývojového prostředí. S tímto prostředím je neodmyslitelně spojena mutace programovacího jazyka. Tato mutace programovacího jazyka je založena na programovacím jazyce C s frameworkem wiring. Díky tomu obsahuje mnoho užitečných funkcí, které ulehčují ovládání komunikace a vstupně výstupních pinů. Vývojové prostředí je vybaveno textovým editorem, správcem knihoven a k němu přiložených příkladů, správcem vývojových desek a nutných nastavení před samotným programováním jako je nastavení kmitočtu vnitřních hodin mikrokontrolerů, způsobu nahrání programu atd. Dále obsahuje sériový monitor neboli terminál pro zobrazení komunikace po sériové lince. V posledních verzích byla funkce terminálu rozšířena nástrojem nazývaným se sériový plotter. Tento nástroj umožňuje graficky zobrazovat průběh určité proměnné odesílané po sériové lince v čase. [7]

4.1 ARDUINO NANO

Pro realizaci fotodetektoru byla zvolena z portfolia desek platformy Arduino deska Arduino NANO. Tato deska byla zvolena pro její malé rozměry (18 x 45 mm).

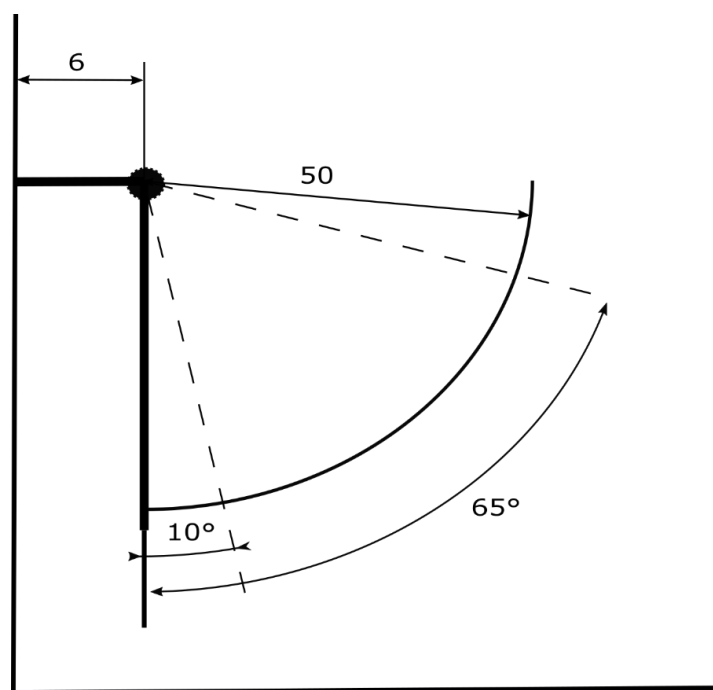
Tento jednodeskový počítač je podobně jako Arduino UNO vybaven mikrokontrolerem ATMEL ATMEGA 328P. Tento mikrokontroler je vybaven 32 kB FLASH pamětí pro programovou paměť a 2 kB paměti RAM pro proměnné a dynamickou paměť. Deska je vybavena převodníkem mezi UART a USB pro komunikaci a nahrání programu z počítače. Má celkem 22 vstupně výstupních pinů, kdy na 6 pinech je možné využít 10 bitové PWM modulace signálu s kmitočtem 600 Hz. Dále je zde 8 pinů, na kterých je možné využít vnitřních 10 bitových ADC převodníků. Tedy 14 pinů je čistě digitálních. Na těchto pinech se však vyskytují vstupní piny komunikačních sběrnic, které Arduino hardwarově podporují díky použitému mikrokontroleru. Těmito sběrnicemi jsou UART (D0, D1), SPI (D10 až D13) a I2C (A5 a A4). Deska kromě mikrokontroleru, převodníků a konektorů obsahuje také další periferie potřebné pro funkci mikrokontroleru (krystalový oscilátor, napěťový regulátor pro napětí 5 a 3.3 V. Napěťový regulátor je používán pokud jsou napěťové úrovně získávány snížením z externího zdroje o vyšším napětí než 7V v případě napájení z externího zdroje za pomoci pinu označeného jako Vin, napětí na tomto pinu může být v rozsahu 7–12 V s přihlédnutím na odebíraný proud, protože díky velikosti desky a přítomnosti lineárního stabilizátoru dochází při větším odběru k velkému zahřívání. [10]



Obrázek 7 Arduino Nano [10]

5 VÝROBA KONSTRUKCE

Obsahem této kapitoly je přiblížení výroby konstrukce fotodetektoru. Tato konstrukce musí splňovat několik požadavků a úkolů. Prvním úkolem konstrukce je umístění detektoru a vysílače paprsku do pozice, ve které bude detekováno minimum nebo maximum výchylky elektroskopu. Hodnoty těchto výchylek byli vhodně zvoleny na základě měření výchylek ručičky elektroskopu, kdy minimum se v použitém elektroskopu má pohybovat mezi druhou a třetí čárkou na cejchování výchylky. Maximální výchylka se nachází přibližně kolem poslední čárky cejchování. Na základě těchto vytyčených poloh měření byli změřeny úhly, v nichž jsou umístěny detektor a vysílač paprsku. Tyto výchylky nejsou absolutními extrémními vychýlení ručičky elektroskopu, ale jsou přibližné velikosti podle cejchování, které je na elektroskopu. Maximum je od svislice tvořené pevnou elektrodou pod úhlem 65° a minimum je pod úhlem 10° . Dalším důležitým parametrem byl zvolen poloměr kružnice, kterou opíše bod na ručičce. Tento poloměr byl zvolen jako délka největší tloušťky ručičky, která činí 50 mm. Na základě těchto parametrů byli navrženy polohy umístění pro detektor a vysílač, které jsou zobrazeny na následujícím obrázku (obr. 9)



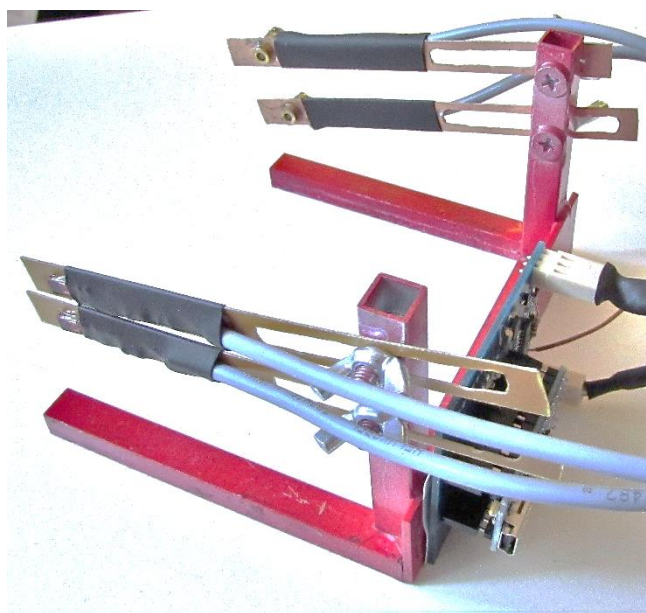
Obrázek 8 zobrazení polohy optických závor

Jedním z hlavních požadavků na konstrukci elektroskopu je minimální ovlivnění průběhu nabíjení a vybíjení elektroskopu resp. elektrostatického pole. Z důvodu minimalizace ovlivnění byl proveden experiment pro výběr materiálu konstrukce. Na základě výsledku experimentu byla zvolena varianta materiálu pro výrobu těla fotodetektoru. Během experimentu byli porovnány tři druhy materiálu, které byli podrobeny zkoušce při níž byl elektrskop nabit a vybit a byly porovnány časy vybíjení. První z materiálu byl výtisk plastického dílu pro umístění detektoru. Tento postup se ukázal jako nejmeně vhodný z důvodu velkého ovlivnění elektroskopu. Proto byla

vytvořena druhá konstrukce podobná té první, kdy bylo testováno zda vyrobení z kovu resp. vodivého materiálu nesníží ovlivnění. Toto ovlivnění bylo sníženo. Podobně nízké ovlivnění bylo pozorováno i u konstrukce tvořené z cuprexitu resp. jednovrstvého plošného poje z materiálu FR4.

Na základě těchto poznatků z experimentu byla vytvořena konstrukce zkonstruovaná z dvojce materiálů. Těmito materiály je kovový profil a materiál pro výrobu plošných spojů FR4. konstrukce nebyla konstruována nejen s ohledem na velikost ovlivnění elektroskopu, ale také s ohledem na ovlivnění, ale také na funkčnost zařízení a jeho obsluhu. Proto byla zvolena konstrukce umožňující změnu pozice jednotlivých částí optické závory. Důvodem užití takovéto konstrukce bylo zjištění poměrně nešikovného doladování konstrukcí předešlých pro zajištění soustřednosti paprsku a detektoru. Například u konstrukce se sjednocením paprsku s detektorem na základě přesně vyvrtaných nebo jinak vyrobených otvorů v materiálu konstrukce přesně soustředně by museli být přesné nejen díry, ale i laserové diody. A tento předpoklad se nepotvrdil jako správný proto byla zvolena konstrukce, která umožňuje doladění.

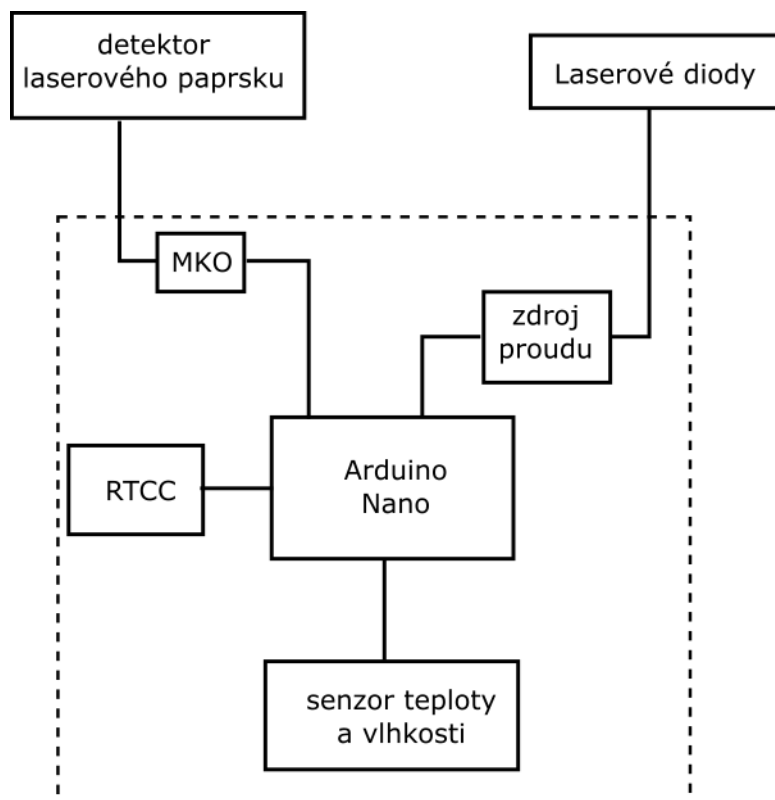
Konstrukce je tvořena základnou z kovového materiálu, který je možné vodivě spojit s obalem elektroskopu a dvou ramen pro uchycení optických prvků fotodetektoru. Ramena jsou zavěšena za mocí šroubového spoje s křídlovými maticemi pro snadné uvolnění a úpravu polohy. Polohu je možné úspěšně měnit za pomoci změny délky a sklonu ramene.



Obrázek 9 kompletní měřicí zařízení

6 HARDWAROVÁ ČÁST

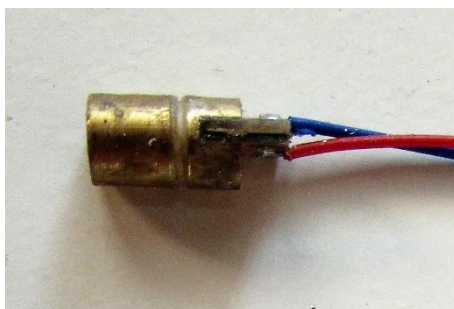
Následující kapitola se zabývá návrhem hardwarové části zařízení, které ve spolupráci s Arduinem Nano bude zajišťovat napájení senzoru a fotodetektoru. Dalším úkolem je požadavek na upravení signálu z fotodetektoru a jeho předání mikrokontroleru na jednodeskovém počítači. Celé zařízení se skládá z několika bloků, které jsou postupně v rámci kapitoly popsány. Tyto bloky jsou zobrazeny na blokovém schématu na obrázku 10.



Obrázek 10 blokové schéma zařízení

6.1 Vysílače světelného paprsku

Vysílač světelného paprsku je tvořen jednou laserovou diodou pro každou optickou závoru. Celé zařízení je vybaveno dvojicí laserových diod, které zajišťují světelný



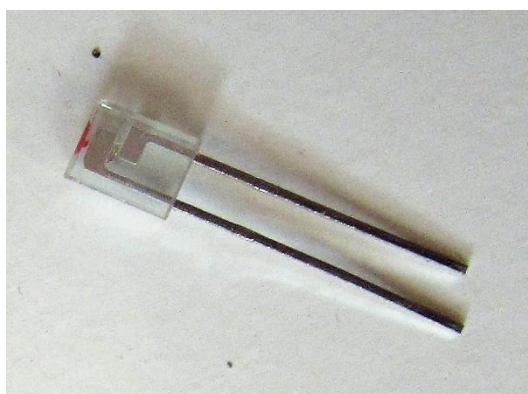
Obrázek 11 laserová dioda

paprsek pro optické závory. Jedná se o laserové diody s vlnovou délkou světla 680 nm, barva světelného paprsku je tedy červená. Tyto diody nejsou ideální pro detekci zvoleným fototranzistorem, ale byly zvoleny s ohledem na potřebu úpravy polohy optických závor a jejich sjednocení, které je mnohem jednodušší v případě využití světla ve viditelném spektru. Mimo tento důvod byl dalším důvodem výběru těchto laserových diod jejich lepší dostupnost, nežli laserových diod vyzařujících paprsek v infračervené oblasti světla. Použité diody mají maximální výkon vyzářeného světelného paprsku 5mW, to se pro účely detekce stínu na detektoru, ukázalo jako dostačující, což ukázalo měření na použitém fototranzistoru.

Laserové diody jsou oproti běžným diodám citlivější na změny úbytku napětí na přechodu P-N z důvodu strmější volt-ampérové charakteristiky oproti běžné LED diodě. Pro ochranu před zničením, jsou laserové diody napájeny za pomoci jednoduchého proudového zdroje.

6.2 Detektor světelného paprsku

Detektor světelného paprsku slouží k detekci stínu vytvořeného při přechodu ručky elektroskopu přes laserový paprsek. Jako detekční prvek pro tuto úlohu byl zvolen fototranzistor. Fototranzistor pro tuto úlohu byl zvolen jak pro relativně nízký proud při zastínění, tak i pro jeho světelně elektrické vlastnosti. V případě vybrané LTR-301 je hodnota tohoto proudu 100nA podle datasheetu. Vybraný fototranzistor nejlépe detekuje světelné záření o vlnové délce 940 nm. Světelné záření zvolené laserové diody je detekováno s přibližně 20 % ztrátou propouštěného proudu. Fototranzistor je následně součástí detektoru. Fototranzistor LTR-301 byl vybrán z důvodu potřeby splnění dvou mechanických kritérií, prvním kritériem byla potřeba jednoduchosti zástavby. Druhým kritériem byl průměr resp. velikost čočky pro vstup paprsku na fototranzistor. LTR-301 je v plochém vývodovém pouzdře se vstupní čočkou na boku pouzdra. Průměr čočky je 0.75 mm [15]



Obrázek 12 fototranzistor LTR301

Detektor není tvořen jen fototranzistorem, ale také obvodem, který je určen pro zachycení určitých zámků a nedostatečných hodnot výstupních úrovní po detekci ručky elektroskopu. Pro tento účel je zvolen postup, kdy monostabilní klopný obvod v integrované podobě generuje na výstupu impulsy, které mají známou šířku a úroveň signálu. Vstupní signál pro spouštění monostabilního klopného obvodu je získáván

tranzistorem zajišťujícím správnou úroveň signálu pro integrovaný obvod. Tento tranzistor je běžný SMD tranzistor BC847, který je v zapojení se společným emitorem. Tranzistor zde pouze invertuje a zvyšuje úroveň signálu při zastínění fototranzistoru. Díky tomu je na výstupu, tedy na kolektoru, při zastínění fototranzistoru logická „1“. V případě při osvětleném fototranzistoru je na kolektoru tranzistoru logická „0“. Tento výstup je dále připojen na spouštěcí vstup B integrovaného obvodu 74HC123D. Tento obvod je zvolený integrovaný monostabilní klopný obvod reagující na nástupnou nebo sestupnou hranu na vstupu A nebo B. Způsob spouštění obvodu je volen za pomoci pravdivostní tabulky (tabulka 2).

Tabulka 1 pravdivostní tabulka integrovaného obvodu 74HC123

vstupy			výstupy
A	B	R	Q
H	X	H	L
X	L	H	L
L	▲	H	▲
▼	H	H	▲
X	X	L	H
L	H	▼	▼

Pro účel projektu je potřeba využít čtvrtého řádku tabulky. Na tomto řádek je detekována nástupná hrana na vstupu B. Vstup A je přizemněn a vstup R je přiveden na vysokou úroveň napětí. Po příchodu impulsu na vstup B se vygeneruje na výstupu impuls o známé šířce a úrovni.

6.3 Senzor teploty a vlhkosti

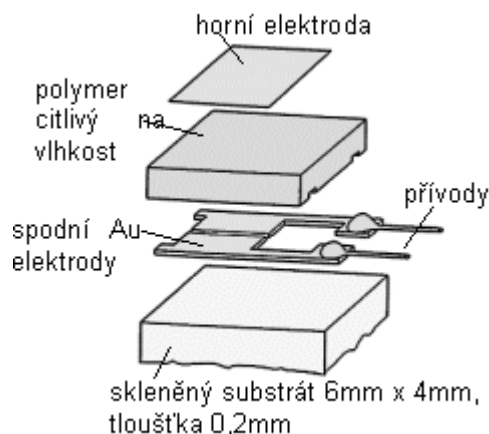
Pro účel měření je potřebné zjišťovat údaj o teplotě a vlhkosti vzduchu v okolním prostředí.

Teplota okolí je měřitelná mnoha možnostmi, ale v principu a také prostředí a podmínkách měření této práce, se dají využít dva hlavní způsoby realizace měření teploty. V rámci platformy Arduino lze realizovat oba způsoby s jistými výhodami i nevýhodami.

Prvním z principů je využití 10 bitového analogově-digitálního převodníku mikrokontroléru. Ten je využit pro měření hodnoty napětí na teplotně závislém prvku, resp. děliči napětí, například termistoru. Tento princip měření je v principu jednoduchý, avšak má mnohé úskalí, které mohou vytvořit relativně vysokou chybu měření. Přesnost převodu za pomoci AD převodníku je závislé na stabilitě napěťové reference převodníku. Podobná chyba může vznikat i pokud dochází ke změnám napětí k napájení teplotně závislého prvku.

Pokud se měření pohybuje v běžných teplotách (-30 °C až 75 °C) může být využito druhé možnosti, kterou je využití integrovaného obvodu teploměru. Tyto integrované obvody v sobě implementují v určité přesnosti předcházející obtíže návrhu teploměru diskretním způsobem s výhodou vyrobení již v určité přesnosti a bez nutnosti doladění samotného obvodu a určitým způsobem tyto obvody, pokud jsou pouze komunikačního charakteru snižují programovou zátěž.

Pro měření vlhkosti vzduchu můžeme využít z principu dvě elektrické vlastnosti vzduchu nebo jiného materiálu, které jsou ovlivněny vlhkostí a jsou měřitelné. Těmito elektrickými vlastnostmi jsou vodivost a permitivita, resp. kapacita kondenzátoru. Principem kapacitního měření vlhkosti vzduchu je využití elektrodového systému, mezi kterým jsou dva typy dielektrika. Jedním z těchto dielektrik je nasákavý polymerní materiál. Tento polymerní materiál pohlcuje vzdušnou vlhkost. Tato pohlcená vlhkost i při malém množství do dielektrika, změní vlastnosti toho dielektrika. To je způsobeno velkou dielektrickou konstantou kapacity. Řádově se jedná o desetinu procentního bodu na procentní bod relativní vlhkosti.



Obrázek 13 příklad kapacitního senzoru vlhkosti [13]

Konkrétně byl vybrán pro měření vlhkosti a teploty integrovaný obvod SHT21. Tento integrovaný obvod byl zvolen jak díky své deklarované přesnosti 2 % pro měření vlhkosti a pro měření teploty o desetinu celsiova stupně. Tak především pro svou funkci, která umožňuje měření teploty a vlhkosti vzduchu. Změřené data předává mikrokontroléru na jednodeskovém počítači za pomoci sběrnice I2C. S tímto souvisí další kritérium výběru integrovaného obvodu. A to existence knihovny pro obsluhu obvodu z prostředí Arduino. Která v případě tohoto obvodu existuje.

6.4 Zdroj reálného času

Jako zdroj reálného času byl zvolen integrovaný obvod DS1307, který zajišťuje dostatečnou přesnost měření času. Tento obvod je využíván v případě, kdy je využito ukládání na kartu SD, kterou je možné připojit ve formě modulu k řídicí desce. Tento integrovaný obvod komunikuje s integrovaným obvodem po I2Csběrnici.

6.5 Schematický návrh

Následující schémata jsou pouze výňatky zobrazující detaily jednotlivých částí návrhu. Kompletní schéma je uvedeno v příloze A.1.

Zdroj proudu, uvedeném na obrazu 13, pro laserové diody je tvořen dvojicí tranzistorů a jedním snímacím a jedním spouštěcím odporem. Princip proudového zdroje je v kostce následující. Proudem ze spouštěcího rezistoru R8 (R6) do báze tranzistoru Q5 (Q3) je tento tranzistor otevírán. Otevřením tranzistoru Q5 (Q3) proudí proud do rezistoru R9 (R7), na němž vzniká úbytek napětí, který je roven úbytku na přechodu báze emitor tranzistoru Q6 (Q4). Tranzistor Q6 (Q4) se díky vzniklému úbytku pootevře, následkem tohoto děje dochází ke snížení proudu do báze tranzistoru Q5 (Q3) a jeho přiškrcení. To vyvolá pokles úbytku na rezistoru R9 a přivření tranzistoru Q6 (Q4). Následkem čeho dojde k znovu pootevření tranzistoru Q5 (Q3). Díky této jednoduché funkci je možné nastavit za pomoci úbytku rezistoru R9, respektive hodnotou odporu tohoto rezistoru proud proudovým zdrojem. Pro případ zvolené laserové diody je potřebný proud 20 mA. Tento proud je nastaven proudovým zdrojem rezistorem o velikosti odporu určeným vztahem (3):

$$R_9 = \frac{U_{BE}}{I} = \frac{1.1}{0.02} = 55 \Omega \quad (3)$$

U_{BE} je v tomto vztahu saturační napětí mezi bází a emitorem tranzistoru Q6 (Q4). dle datasheetu zvoleného tranzistoru BC847 je toto napětí 1.1 V. Maximální výkonová ztráta na tranzistoru je 250mW. Největší výkonová ztráta vzniká na tranzistoru Q5 (Q3) tato výkonová ztráta je rovna součinu nastaveného proudu a úbytku napětí, který je roven rozdílu napájecího napětí a úbytku napětí na rezistoru R9 (R7) a laserové diodě. Úbytek na laserové diodě je podle datasheetu modulu laserové diody 2.2 V. Pro úbytek napětí mezi kolektorem a emitorem tranzistoru Q5 (Q3) platí vztah (4):

$$U_{CEQ1} = U - U_{R2} - U_{D1} = 5 - 1.1 - 2.2 = 1.7 V \quad (4)$$

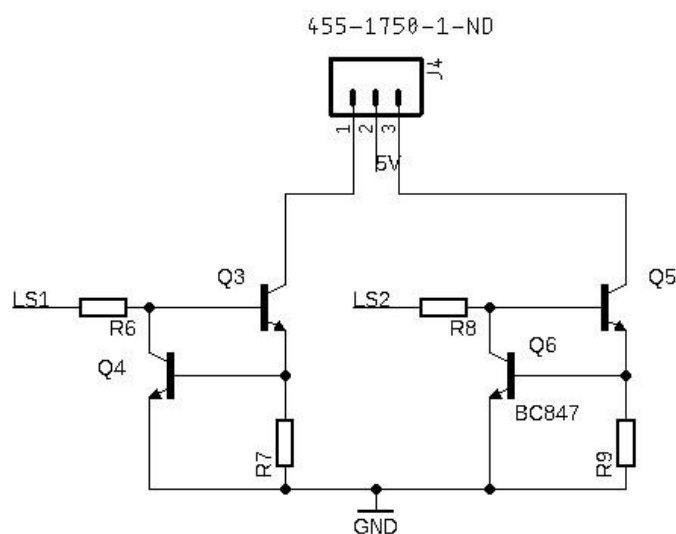
Výsledná výkonová ztráta na tranzistoru Q5 (Q3), která je s dostačenou rezervou výkonové ztráty navržené dle následující rovnice (5):

$$P = U_{CEQ1} \cdot I = 1.7 \cdot 0.02 = 34 mW \quad (5)$$

Spouštěcí odpor R1 byl zvolen o velikosti 1kΩ. Spouštěcí proud se tedy rovná dle rovnice (6):

$$I_{b1} = \frac{U - U_{Q1be} - U_{R2}}{R_1} = \frac{5 - 1.1 - 1.1}{1000} = 2.8 mA \quad (6)$$

Připojení laserových diod je realizováno za pomoci konektoru, na kterém je napájecí 5 voltová napětí a vstup na proudového zdroje.



Obrázek 14 proudový zdroj pro laserové diody

Fotodetektor, jehož schéma je uvedeno na obrázku 14, je realizován za pomoci integrovaného obvodu 74HC123, ke kterému je připojen fototranzistor přes konektor. Na tomto konektoru je napájecí napětí 3.3 V a výstup fototranzistoru. Proud fototranzistoru je napájen proudem 1 mA, který je zároveň určen k otevření tranzistoru pro invertování signálu. Proud do tohoto tranzistoru je omezen odporem o velikosti 100R.

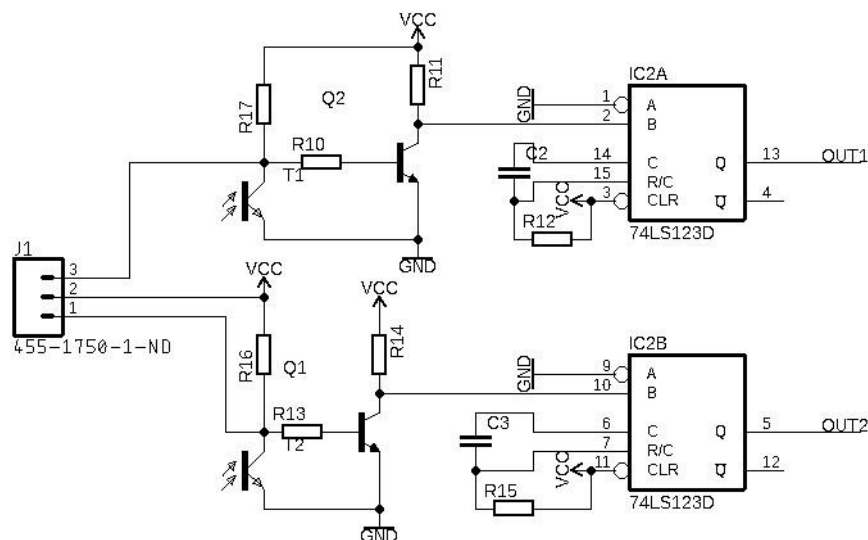
Šířka generovaného impulsu je zvolena přibližně na 5 ms, Tato šířka impulsu byla zvolena jako polovina 10x menšího měřeného časového úseku. Nejkratší počítaný časový úsek je desetina sekundy. Pro potřebnou šířku impulsu platí následující rovnice, kdy je myšleno použití kondenzátoru o velikosti 1uF.

$$t = k \cdot C_x \cdot R_x \Rightarrow R_x = \frac{t}{0,45 \cdot C_x} = \frac{0,005}{0,45 \cdot 1\mu} = 11,1 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

Konstanta K v rovnici je konstantou získanou v datasheetu obvodu. Hodnota odporu byla zaokrouhlena na nejbližší z řady, po úpravě je výsledná délka impulsu, tedy s použitím rezistoru, 10 kΩ.

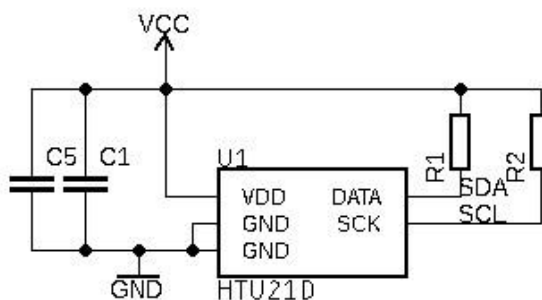
$$t = k \cdot C_x \cdot R_x = 0,45 \cdot 1\mu \cdot 10\,000 = 4,5 \text{ ms} \quad (8)$$

Výstup je následně přímo připojen na vstup mikrokontroléru.



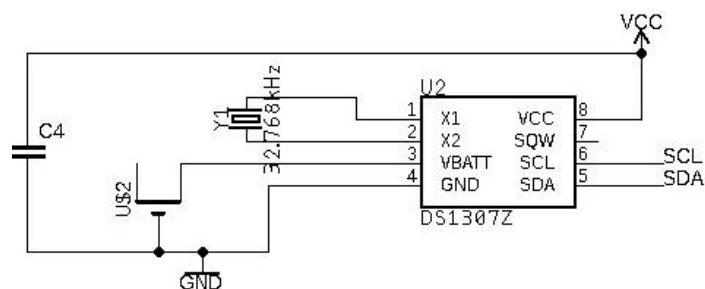
Obrázek 15 schéma fotodetektoru

Senzor vlhkosti a teploty tvořený integrovaným obvodem SHT21 pro svou funkci potřebuje napájení 3.3 V. Na tomto napájení je umístěn kondenzátor 100nF. Pro umožnění komunikace je potřebné uvést sběrnici I2C do klidového stavu. Klidovým stavem je vysoká úroveň, tato úroveň je nastavena za pomoci pull-up rezistoru o hodnotě 10 kilo ohmů.



Obrázek 16 schematický návrh senzoru vlhkosti a teploty SHT21

Zdroj reálného času tvořený integrovaným obvodem DS1307 pro svou funkci potřebuje napájení 3.3 V. Na tomto napájení je umístěn kondenzátor 100nF jako zdroj kmitů pro čítač je zde krystalový oscilátor s frekvencí 32.762 kHz se zatěžovací kapacitou 12 pF. Pro zajištění čítání v případě odpojení napájení je tento integrovaný obvod vybaven vstupem pro baterii. K tomuto vstupu je tedy umožněno připojení baterie s 3 V tedy je nutno užít lithiových baterii.

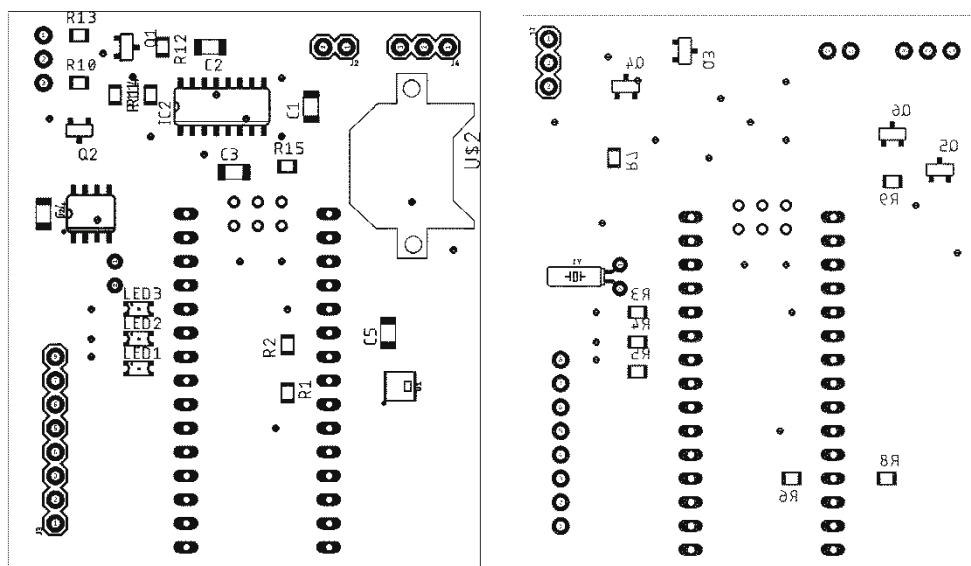


Obrázek 17 schematický návrh zdroje reálného času

6.6 Návrh DPS

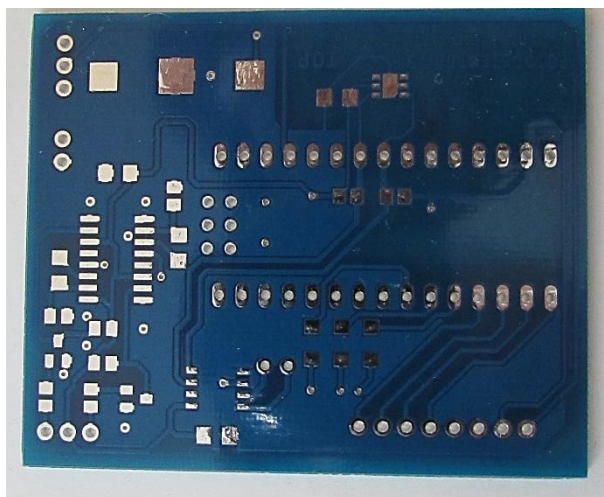
Podobně jako schémata, tak i návrhy DPS měřicího zařízení jsou součástí příloh. Na následujícím obrázku (obrázek 18) je zobrazeno pouze umístění komponentu.

Celý plošný spoj je tvořen kolem ústřední části tvořené dvojicí konektorů pro umístění jednodeskového počítače Arduino Nano. Na spodní straně desky s plošnými spoji je umístěn proudový zdroj. Na horní straně desky s plošnými spoji je po pravé straně konektoru pro jednodeskový počítač umístěn senzor vlhkosti a teploty, po levé straně tohoto konektoru RTCC modul spolu s konektorem pro případné rozšíření o kartu SD. Nad konektorem je umístěn obvod zpracování signálu z fototranzistoru. Celá plocha desky, která není využita pro konkrétní spoje je vyplněna rozlitou mědí kromě části se senzorem teploty a vlhkosti. Tato část pro minimalizaci teplotní rezistence je takto realizována na základě doporučení výrobce na návrh plošného spoje oblasti kolem tohoto senzoru. Deska plošného spoje má rozměry 61 x 51 mm jedná se o dvojvrstvou desku tloušťky 1 mm.



7 REALIZACE ŘIDICÍ DESKY

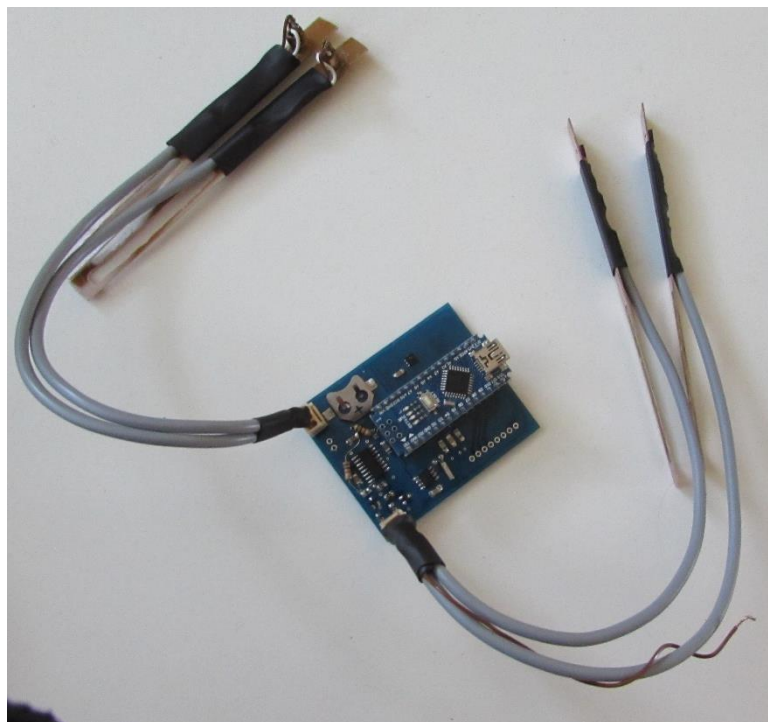
V průběhu bakalářské práce byly vytvořeny dvě vývojové verze řídicí desky. DPS pro obě tyto verze byly vyrobeny formou nízko objemové prototypové výroby (tzv. “pool”). Na obrázku 18. je zobrazena finální verze této desky v neosazené podobě. Důvodem výroby více desek byla chyba v podkladech, které zapříčinili nefunkčnost modulu fotodetektoru a teplotního senzoru, který měřil s velkou chybou.



Obrázek 19 finální verze DPS horní strana

Výsledná verze desky má také drobnou výrobní vadu způsobenou chybou v návrhu a také později ve výrobě. Tato chyba způsobila opačnou funkci monostabilního klopného obvodu. Kdy generovaný impuls byl generován v jiný okamžik a neřízeně. Vzhledem k nedostatku času na výrobu nové desky již bylo nutné zvolit opravu jiným způsobem. Způsob opravy byl zvolen jako přemostění chybného zapojení za pomoci vývodových součástek. Jedná se o rezistory R12 a R15 ve schématu.

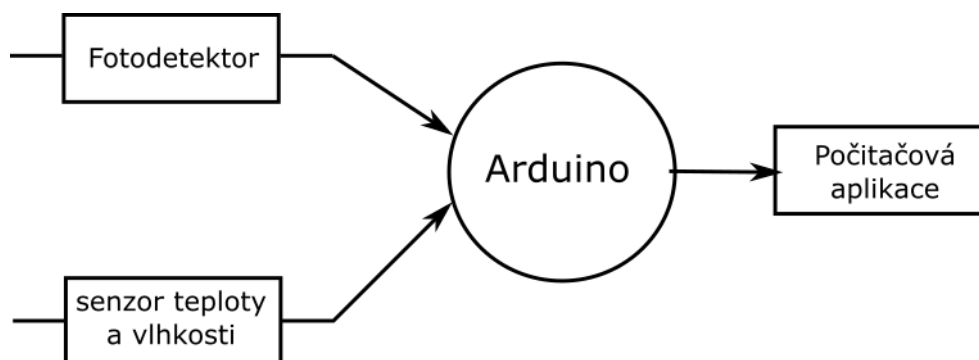
Výsledná deska je spolu se senzory fotodetektoru a vysilači laserového paprsku spojena za pomoci krimpovaných konektorů a LIYY kabelů. Kabel vedoucí k fotodetektorům je 3 linkový kde jeden vodič je napájení 3.3 V, druhý GND a třetí vodič je určen pro signál z detektoru. V případě kabelů vedoucího do vysilačů se jedná o kabel s dvěma vodiči. První vodič určený pro napájecí napětí 5 V a druhý pro vstup do proudového zdroje



Obrázek 20 osazená DPS komponenty a připojenými senzory
fotodetektoru

8 SOFTWAREVÁ ČÁST

Tato kapitola se zabývá popisem softwaru, který za pomoci mikrokontroleru na jednodeskovém počítači Arduino Nano zajišťuje komunikaci se senzorem vlhkosti a teploty, vyhodnocování signálu fotodetektoru a následně z těchto signálů a senzorů získávat data o měření doby vybití nebo zjišťování okolních klimatických podmínek. Také se stará o průběžné odesílání dat do počítačové aplikace sloužící k zobrazování dat a jejich uložení.



Obrázek 21 diagram základní funkce programu

8.1 Inicializace

Tato část programu je provedena v rámci první strukturní části programu na platformě Arduino. Během této části jsou provedeny dva úkonové bloky. V rámci prvního bloku jsou uvedeny do provozu všechny komunikační sběrnice a inicializovány funkce jednotlivých vstupních nebo výstupních pinů. Druhým a zároveň posledním úkolem v této části inicializace je nastavení přerušení za pomoci pinů pro vyvolání externího přerušení INT0 a INT1 a přerušení časovače.

Inicializace přerušení je provedena za pomoci knihovní funkce Arduina *attachInterrupt()*, tato funkce má tři parametry. Prvním je pin vyvolávající přerušení, druhou funkcí je funkce provedená během přerušení a třetím parametrem je mód spouštění přerušení. Přerušení je možné spouštět náběžnou nebo sestupnou hranou signálu, změnou úrovně signálu nebo nízkou úrovní signálu.

Uvnitř funkce pro nastavení externího přerušení je provedeno nastavení za pomoci zápisu do dvou registrů, které slouží pro nastavení funkce. Prvním registrem pro nastavení externího přerušení je registr EICRA. V tomto registru je nastaven mód spouštění přerušení. Přerušení na těchto dvou bitech lze vyvolat 4 způsoby, a to logickou nulou na pinu, změnou logické hodnoty na pinu a detekcí nástupné nebo sestupné hrany signálu. Druhým registrem pro konfiguraci přerušení je registr EIMSK. Tímto registrem je povolováno přerušení pomocí dvou nejnižších bitů. V případě nastavení bitu do logické jedničky je povoleno přerušení pomocí tohoto pinu. Následně, po této konfiguraci registrů, je možné detekovat přerušení za pomoci vektorů přerušení pro pin INT0 nebo INT1.

Ve druhé části inicializační sekvence je provedena inicializace přerušení za pomoci interního časovače mikrokontroleru a provedeny testy funkce, kdy je otestován příjem signálu ze senzorů a je zahájena komunikace.

V rámci inicializování komunikačních sběrnic je inicializována sběrnice UART a I2C. UART sběrnice je inicializována na rychlost 9600 baudu za vteřinu a konfiguraci 8 bitu plus jeden stop bit bez paritního bitu. I2C sběrnice je v rámci Arduina a knihovny wire.h defaultně inicializována na standartním modu rychlosti tedy 100 kbps.

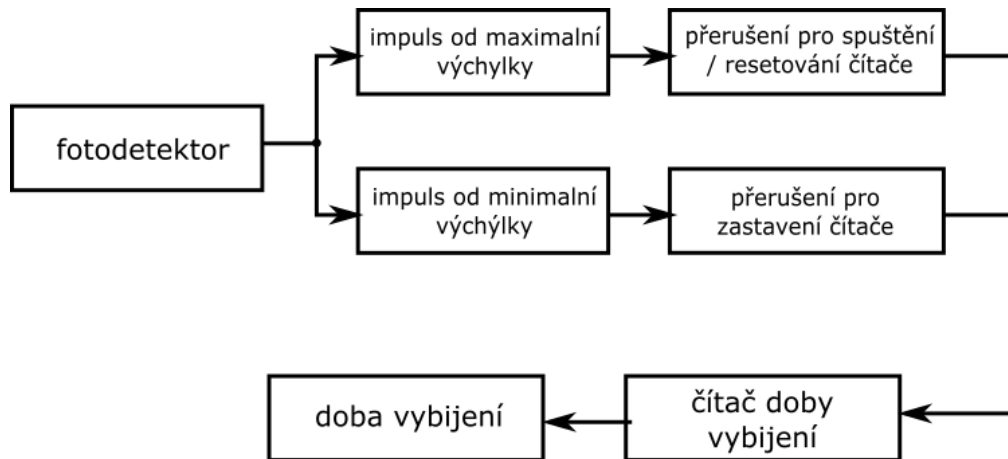
Poslední inicializovanou částí je přerušení od časovače, který je využíváno k čítání časového údaje vybití elektroskopu. Tento 16 bitový časovač pracuje v komparačním režimu, což znamená, že za pomoci registru *OCR1A* je nastavena hodnota, kterou pokud čítač dosáhne, je aktivován příslušný vektor přerušení, kterým je v tomto případě *TIMER1_COMPA*. Doba jednoho impulsu, kterou čítač čítá, je odvozena od stejného zdroje synchronizačních impulsů využívaného pro celý mikrokontrolér, kterým je frekvence externího krystalového oscilátoru (16 MHz). Tento kmitočet je dělen za pomoci děličky kmitočtu hodnotou 256. Kmitočtový dělič ovládá registr *TCCR1B*. V tomto registru se za pomoci bitu pojmenovaného *WG12* nastaví dělič kmitočtu, a za pomoci bitu pojmenovaného *CS12* se nastaví zdroj základního kmitočtu pro čítač. Kmitočet, na základě, kterého je čítáno, je odvozen od krystalového oscilátoru, který je využíván i pro mikrokontroler jako zdroj synchronizačních impulsů. Nastavení je provedeno tak aby byl kmitočet nastaven 62,5 kHz. Nastavení prescaleru dělí základní kmitočet 16 MHz hodnotou 256 aby bylo možné čítat 624 impulsů, pro získání frekvence 100 Hz, resp. periodu 10 ms.

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin_start, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pin_stop, INPUT_PULLUP);
  pinMode(ERROR_LED, OUTPUT);
  pinMode(MEAS_LED, OUTPUT);
  pinMode(SAVE_LED, OUTPUT);
  pinMode(WARNING, OUTPUT);
  pinMode(LS_1, OUTPUT);
  pinMode(LS_2, OUTPUT);

  digitalWrite(LS_1, HIGH);
  digitalWrite(LS_2, HIGH);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_start), START, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_stop), STOP, FALLING);
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  TCNT1 = 0;
  // nastavení komparační hodnoty časovače pro generování frekvence 100
  Hz resp. periody 0,01s (16000000/((624+1)*256))
  OCR1A = 624;
  // CTC
  TCCR1B |= (1 << WGM12);
  // nastavení děličky kmitočtu na 256
  TCCR1B |= (1 << CS12);
  establishContact();
}
```


8.2 Měření doby vybíjení

K měření doby vybíjení elektroskopu je využíváno celkem dvou přerušení. První přerušení je vyvolané pomocí pinu pro externí přerušení, které se aktivuje při příchozím signálu, resp. při sestupné hraně tohoto signálu přerušení uvnitř kterého je aktivována možnost zastavení času a je zde aktivován časovač.

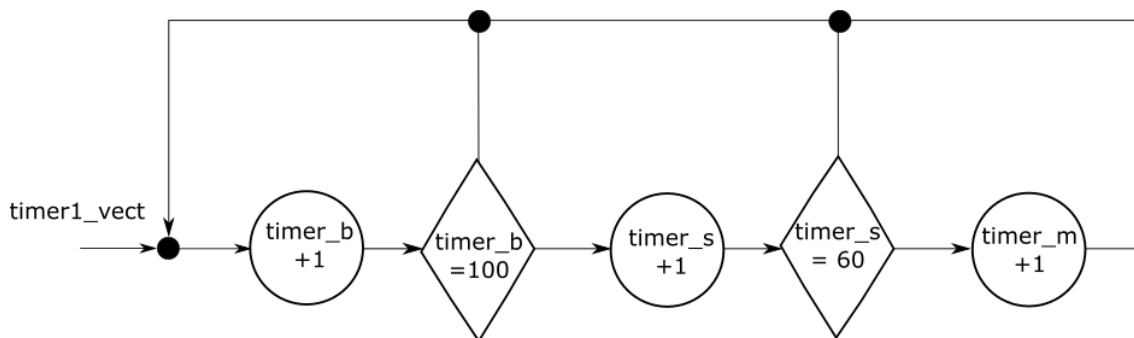


Obrázek 22 blokové schéma funkce měření doby vybíjení

Celé měření doby vybíjení je tedy následující. Po příchodu impulsu z optické závory na maximální hodnotě dojde k vyvolání přerušení, během tohoto přerušení je vymazán čítač doby vybíjení a spuštěn časovač pomocí zapsání do registru TIMSK1. Jsou vystaveny příznakové proměnné start_bit a timer_bit. Příznaková proměnná timer_bit dává na vědomí probíhající měření a aktivuje možnost ukončení měření příchozím impulsem od minimální výchylky. Začátek měření není nijak blokován, pro případné překmity je potřeba vždy měřit od posledního překmitu přes maximální hodnotu. Na základě příznakové proměnné start_bit je provedena funkce start_sequence. V této funkci je změněna hodnota stavové proměnné na hodnotu start_meas, která informuje počítačovou aplikaci o začátku měření.

```
void START(){
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
    start_bit = true;
}
void start_sequence(){
    state = begin_meas;
    timer_base = 0;
    timer_second = 0;
    timer_minute = 0;
    timer_bit = true;
    digitalWrite(MEAS_LED, HIGH);
    start_bit = false;
}
```

Funkce prováděná během přerušení vyvolaného časovačem, má za úkol čítat časové jednotky na základě nejnižšího časového údaje 10 ms generovaného časovačem. Čítání doby vybíjení je prováděno dle následujícího diagramu.



Obrázek 23 diagram posloupnosti čítání časových jednotek

Po přijetí signálu z optické závory na minimální výchylce, pokud již bylo započato měření doby vybíjení elektroskopu, je vyvoláno přerušení, během něhož je vynulován registr TIMSK1 a tímto smazáním hodnoty je zastaven časovač. Je vystavena příznaková proměnná pro ukládací sekvenci. Ve funkci spouštěné na základě vystavení příznakové proměnné save_bit je provedeno odeslání dat do počítačové aplikace a je ukončeno měření.

```

void STOP() {
  if (timer_bit) {
    TIMSK1 = 0;
    save_bit = true;
    timer_bit = false;
  }
}

void save_sequence() {
  state = end_meas;
  digitalWrite(MEAS_LED, LOW);
  save_bit = false;
}

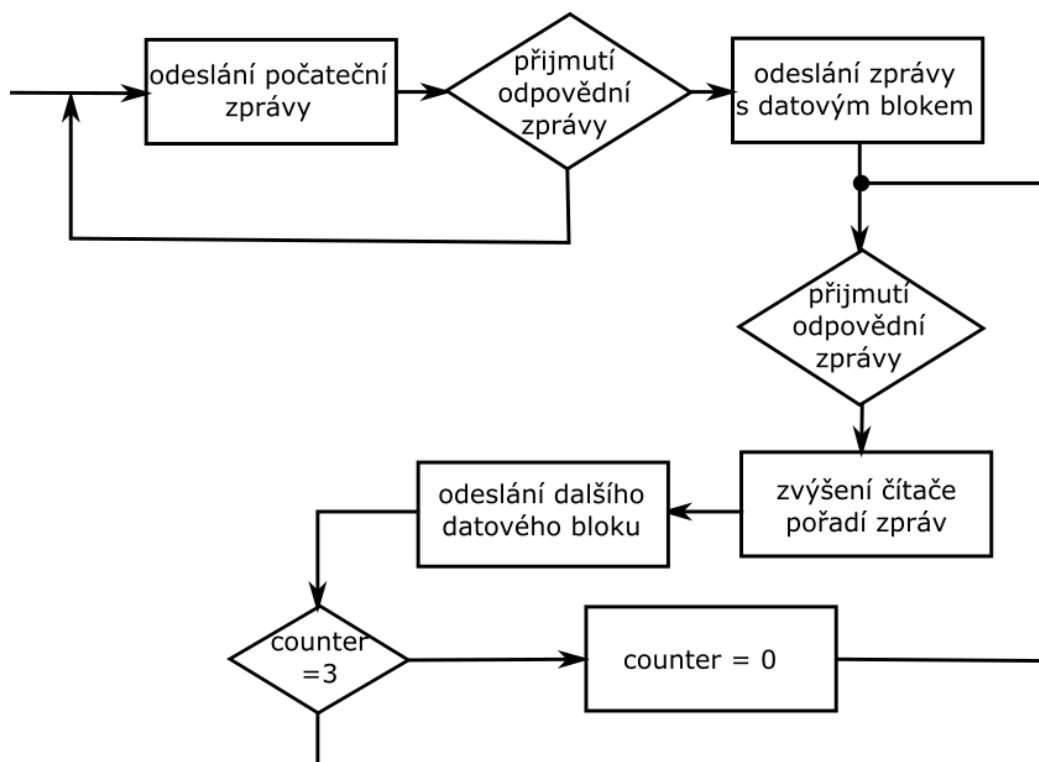
```

8.3 Komunikace

Komunikací je v této kapitole myšlena komunikace umožňující výměnu dat s počítačovou aplikací, která je určena pro umožnění splnění úkolu zobrazování dat v průběhu běhu měření a následného uložení změřených dat po ukončení měření do textového souboru.

Této aplikaci Arduino předává změřená data za pomoci využití komunikační sběrnice UART. Po této sběrnici jsou během běhu odesílacího protokolu postupně odesílány data o měření. Těmito daty jsou změřená teplota a vlhkost okolního prostředí elektroskopu, stav měření a změřené časy. Během odesílání dat o stavu měření jsou oznamovány, zda je měření zahájeno v průběhu, ukončeno nebo je vyčkáváno na počáteční impuls. Dokud není navázáno spojení s počítačovou aplikací není možné provádět měření doby vybíjení elektroskopu. Celá komunikace začíná ve chvíli inicializace programu, během které je

odesílán znak A po sériové lince každých 300ms, dokud nepřijde libovolný odpovědní znak.

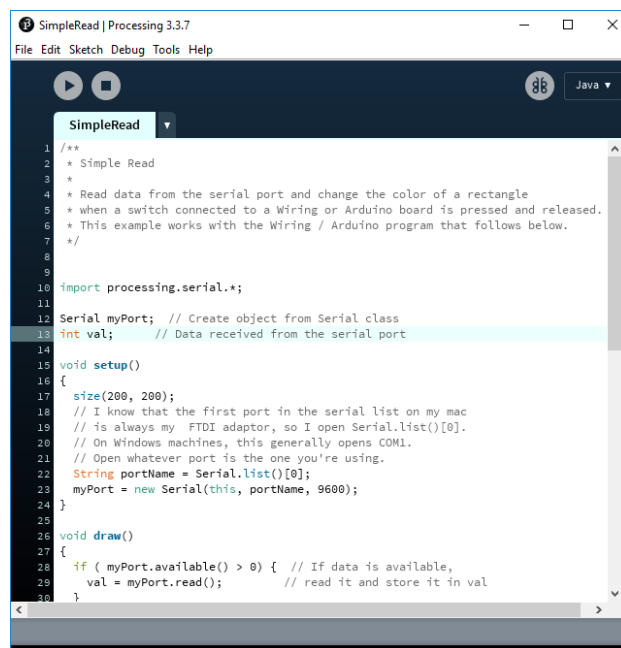


Po přijmutí tohoto odpovědního znaku je odeslán první blok dat. Po odeslání dat je vyčkáno na potvrzení příchozím znakem. Po přijetí odpovědního znaku je odeslán další blok dat. Takto jsou odeslány všechny bloky dat. Odesílání proměnných je provedeno za pomoci funkce *Serial.write()* umožňující odeslat proměnou o libovolném datovém typu v bitové formě. Každý blok odesílaných dat je uvozen odesláním pořadového čísla po, kterém následují vždy dvě odesílané proměnné. Tyto bloky dat jsou celkem 3, které se odesílají ve smyčce. V prvním bloku dat jsou odeslána data o klimatických podmínkách v druhém a třetím bloku jsou obsažena data o změřené době vybíjení elektroskopu. V posledním bloku dat je kromě jedné z jednotek doby vybíjení také proměnná o stavu zařízení. Tato proměnná je určena pro sdělení aplikaci, zda probíhá měření, zda začalo nebo bylo ukončeno, a v případě chyb.

Během odesílání dat jsou také přečtena data ze senzoru teploty a vlhkosti. S tímto senzorem je komunikováno za pomoci I2C sběrnice, která je ovládána za pomoci knihovny *Wire.h*. avšak během programu je tato knihovna přímo využita pouze k inicializaci komunikace jinak je využíváno knihovny pro řízení integrovaného obvodu *sht21*. touto knihovnou je knihovna *Sodaq-SHT2x.h*. tato knihovna obsahuje několik funkcí avšak v projektu je využita funkce pro čtení informace o teplotě a vlhkosti. Těmito funkcemi jsou *SHT2x.GetTemperature()* a *SHT2x.GetHumidity()*. Při odesílání hodnoty teploty je z důvodu konverze dat nutné upravit hodnotu teploty tak aby odeslaná hodnota měla jedno desetinné místo. Proto je hodnota přečtené teploty vynásobena 10 následně je číslo převedeno na integer. Podobný postup je i pro hodnotu vlhkosti.

9 POČÍTAČOVÁ APLIKACE

Pro účely zobrazování a následného ukládání dat a stavů o měření za pomoci jednodeskového počítače Arduino Nano byla vytvořena počítačová aplikace, která zajišťuje splnění těchto úkolů. Aplikace byla vytvořena ve vývojovém prostředí Processing. Processing je opensource programovací jazyk a vývojové prostředí. Tuto platformu stejně jako v případě Arduina tvoří především programovací jazyk podobný jazyku wiring.

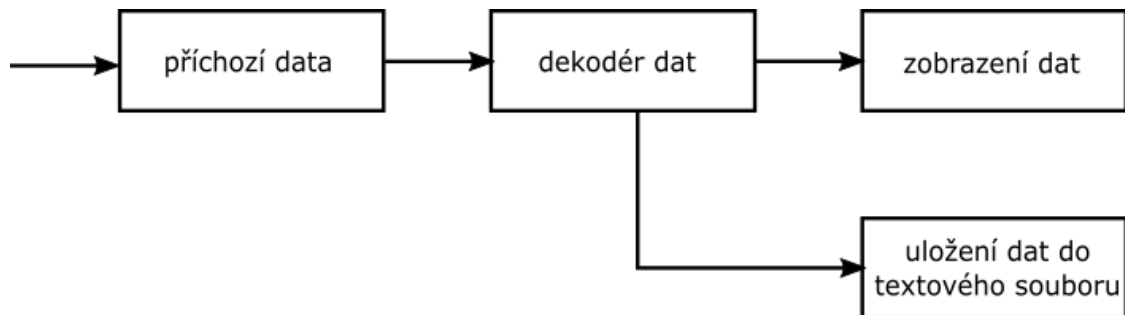


Obrázek 25 prostředí Processing IDE

Projekt vznikl v roce 2001 na MIT Media Lab v rukou pánů Casey Reas a Ben Fry. Podobně jako v případě Arduina byl tento projekt původně založen se záměrem přiblížit programování širší veřejnosti za pomoci tvorby vizuálního obsahu. Díky tomu vznikly komunity grafiků, kteří za pomoci programovacího jazyka Processingu vytváří různá díla, je zapříčiněno existencí mnoha funkcí pro tvorbu a práci s grafikou, například pro vykreslení základních tvarů jako kruhy, mnohoúhelníky, přímky a další, ale také pro práci se samotnou grafikou po stránce úpravy již hotových děl pomocí různých zásahů do bit streamu grafiky. Důvod, proč je Processing využit pro vytvoření aplikace namísto jiné platformy je spjatost s platformou Arduino a jazykem Wiring. Při vzniku platformy Arduino byl totiž základ Processingu upraven pro potřeby programování mikrokontroléru. A v případě samotného IDE je podobnost jasná na první pohled, jak ukazuje i obrázek 25. I

Základem funkce aplikace je především komunikace s jednodeskovým počítačem, během této komunikace jsou získávány data o měření a stavu měřícího zařízení. Těmito daty jsou změřená doba vybití elektroskopu, aktuální teplota, vlhkost a stav zařízení, kterým je sdělováno, zda zařízení provádí nebo vyčkává na měření a v případě přechodu mezi těmito stavy ve chvílích průchodu ručičky závorou je sdělován začátek nebo konec měření. Získaná data ihned po získání dekoduje do svých proměnných, které využívá pro

zobrazování dat na obrazovku počítače a v případě kdy dojde k ukončení měření dochází k uložení dat do textového souboru.



Obrázek 26 diagram základní funkce aplikace

9.1 Příjem dat

Příjem dat z Arduina je kontinuální, tedy probíhá po celou dobu spuštění aplikace a navázání komunikace s měřicím zařízením. Z tohoto důvodu do navázání komunikace není zařízení aktivní a nemůže provádět měření až po navázání komunikace s aplikací. Komunikace je navázána přes první nevyužitý sériový port počítače, je předpokládáno připojení pouze tohoto zařízení případně musí být více zařízení připojováno postupně, tento postup je proveditelný. Po navázání komunikace a přijmutí znaku z Arduina je odeslán stejný znak zpět, po jehož doručení Arduino odešle první data a tímto způsobem se opakuje komunikace stále dokola

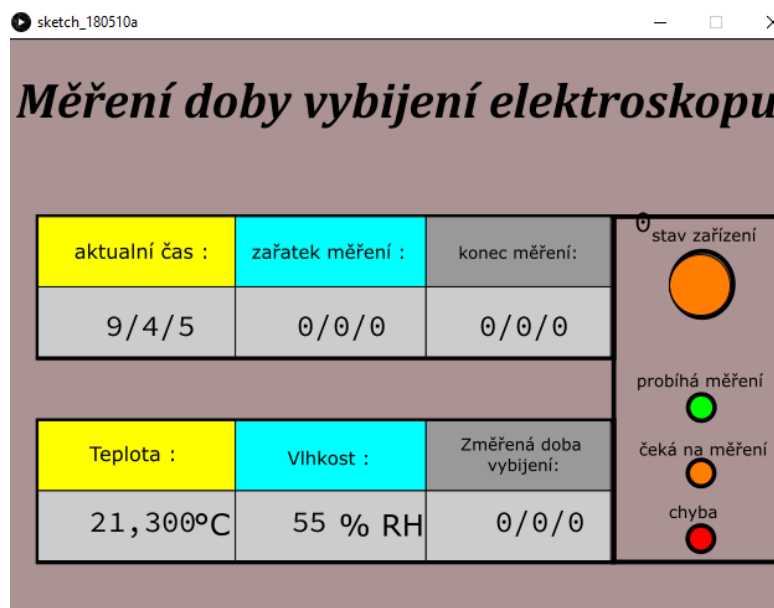
Přijmutá data jsou ihned po přijmutí dekodována do proměnných které jsou později využity pro další účely. Dekódování je provedeno na základě pořadového čísla bloku dat, které uvozuje každý blok dat.

```
void serialEvent(Serial myPort) {
    int inByte = myPort.read();
    if (firstContact == false) {
        if (inByte == 'A') {
            myPort.clear();
            firstContact = true;
            myPort.write('A');
        }
    } else {
        serialInArray[serialCount] = inByte;
        serialCount++;
        if (serialCount > 2 ) {
            count = serialInArray[0];
            byte_1 = serialInArray[1];
            byte_2 = serialInArray[2];
            dekodér();
            println(count + "\t" + byte_1 + "\t" + byte_2 );
            myPort.write('A');
            serialCount = 0;
        }
    }
}
```

9.2 Zobrazení dat

Zobrazení dat, které byli přijmuty z měřicího zařízení. Jsou na obrazovce aplikace zobrazovány v rámci nekonečné smyčky nazývané funkcí `draw()`. V rámci této funkce je nutné celou obrazovku vždy smazat za pomoci funkce `redraw()`, toto smazání je nutné provést, aby bylo možné za pomoci funkce pro vykreslování proměnných vypisovat data na obrazovku. Tato funkce provádí pouze tisk textu, a ne jeho přemazání tedy dochází k překrytí textu textem. Po smazání je obrazovka je tedy nutné vykreslit pozadí, tvořené obrázkem ve formátu png. Který je nutné nejprve načíst během inicializace a následně je možné ho vykreslovat během programu i opakovaně. K vykreslení obrázku slouží funkce `image()`, která je určena k vykreslení obrázku a ke změně jeho rozměrů. Následně jsou vykreslovány jednotlivé proměnné na pozicích dle rozložení udávající pozadí. K vypisování proměnných s daty přijmutými z měřicího zařízení je využíváno funkcí pro práci s textem. Tyto funkce umožňují změnu barvy textu fontu velikosti samozřejmě polohy a zarovnání textu vůči udanému počátečnímu bodu.

```
void draw() {
  redraw();
  image(img, 0, 0);
  textAlign(CENTER);
  fill(0);
  text(count, width * 0.8, height * 0.325);
  text(begin_meas_h + "/" + begin_meas_m + "/" + begin_meas_s, width *
0.3, height * 0.325);
  text(end_meas_h + "/" + end_meas_m + "/" + end_meas_s, width * 0.66,
height * 0.325);
  text(timer_m + "/" + timer_s + "/" + timer_b, width * 0.49, height *
0.655);
  text(tmp, width * 0.21, height * 0.81);
  text(hmn, width * 0.75, height * 0.81);
}
```



Obrázek 27 počítačová aplikace

9.3 Textový soubor

Pro vytvoření textových souborů z dat slouží v prostředí Processing soubor funkcí writer. Za pomoci těchto funkcí je při spuštění aplikace vytvořen textový soubor. Tento soubor je ve chvíli svého vytvoření pojmenován datem vytvoření a je do něj zapsána hlavička s datem a jménem portu, na kterém je připojeno zařízení.

```
Filename = "LOG" + year() + month() + day()+hour()+minute() +second()
+ ".txt";
output = createWriter(Filename);

output.println("////////////////////////////////////
////////////////////////////////////");

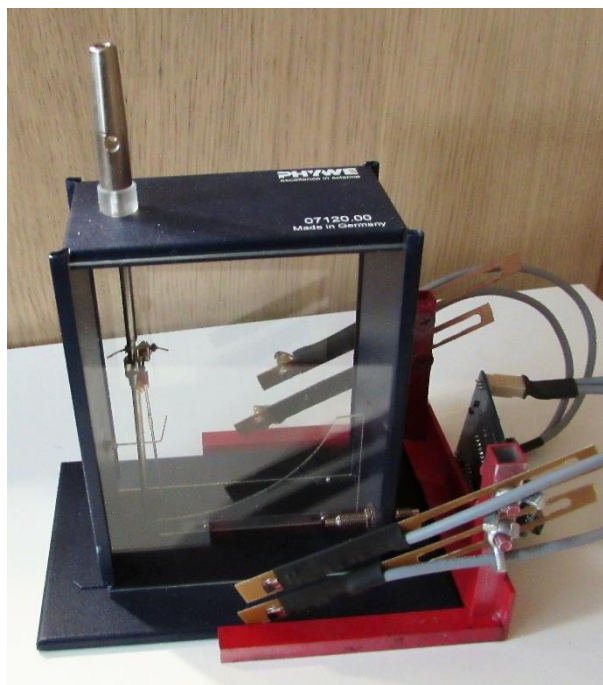
output.println("měření elektroskopem");
output.print("datum měření: ");
output.println(year() + "/" + month() + "/" + day());
output.print("zařízení na portu: ");
output.println(portName);

output.println("////////////////////////////////////
////////////////////////////////////");
```

Uložení dat z měřicího zařízení je rozděleno do dvou podobných fází. V první fázi jsou data získaná ze zařízení uložena do proměnných pro vytisknutí do textového souboru. Tyto data jsou však do souboru vytisknuta až po ukončení měření, a to s podmínkou, že měření je delší jak 10 s. a pokud ne, měření není uloženo jako validní měření. V případě, kdy je měření shledáno validním jsou do souboru uloženy hodnoty vlhkosti, teploty a čas začátku a konce měření, a především údaj doby vybíjení. Ukládání do souboru probíhá, dokud nedojde k ukončení programu.

10 OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ

Ověřovacím měřením v rámci této práce se rozumí tři měření prvním měřením, které má obhájit skutečnost malého ovlivnění elektroskopu bylo provedeno srovnávací měření při kterém byla srovnávána doba vybíjení elektroskopu při vybavení elektroskopu konstrukcí fotodetektoru a bez výbavy. Jako konstrukce fotodetektoru byli použity celkem tři případy první případy byli měřeny s výbavou konečného zařízení, kdy nebylo využito 3D tisku, ale liší se použitím materiálu na ramenech fotodetektoru. Další případ je měření, při němž bylo užito jednoho z prvních exemplářů fotodetektoru, který je vyroben 3D tiskem z materiálu PLA. Měření bylo provedeno v běžných podmínkách při relativně konstantní pokojové teplotě a vlhkosti v rozmezí 40 - 50 %RH. Měření se všemi vzorky bylo provedeno s 15 opakováními. Na základě těchto měření je pro každý případ vypočtena chyba měření.



Obrázek 28 kompletní měřicí zařízení během měření doby vybíjení

Kde za referenční měření bylo považováno měření elektroskopu bez výbavy. V tabulce 3 je uveden zprůměrovaný výsledek měření doby vybíjení elektroskopu a odchylka mezi měřeným typem konstrukce a elektroskopem bez vybavení. Je nutné však zdůraznit, že toto měření je zatíženo množstvím chyb způsobených způsobem měření a množstvím ovlivnění vnějšími vlivy při vybíjení elektroskopu. Jedním z těchto zdrojů chyby je například doba měření stav atmosféry během dne vlhkost vzduchu a mnohé další, které způsobily poměrně velké rozdíly v časech měření především z důvodu, kdy je měření prováděno způsobem nabití ESD výbojem a následné vybíjení a po úplném vybití je nutná přestávka pro vybití úplné nejen indikované. toto prodlužuje časy měření a zanáší chyby do měření.

Tabulka 2 výsledky měření při experiment u vybíjení elektroskopu s exempláři

	měření elektroskop		
	bez konstrukce	konstrukce s rameny z FR4	konstrukce z plastu
průměrná hodnota doby vybíjení	10:40,7	12:53,2	36:39,6
odchylka	-	02:13,5	25:49,1
Chyba měření	-	21 %	259 %

Výsledkem měření je tedy zjištění nepřesnosti měření 21 % oproti nevybavenému elektroskopu, avšak v lepších podmínkách a stabilnějších může být dosaženo nižší hodnoty chyby nežli udaných 21%.

Druhým měřením, která bylo provedeno pro ověření funkce zřízení byla ověřena přesnost teploměru. Teploměr byl ověřen za pomoci srovnávacího měření s teploměrem DS18B20, který byl zvolen jako vhodný protějšek pro srovnání. Měřena byla pokojová teplota. Teploměr s ds18b20 byl již dříve ověřen, že měří správně za pomoci měření na trojném bodě, avšak desku s naším teploměrem takto vyzkoušet nelze v dostupných podmínkách. Výsledkem měření byla odchylka měření 2,75 % tedy o 0,6 °C

Tabulka 3 výsledky srovnávacího měření senzoru teploty

	pokojová teplota [°C]	trojný bod [°C]	odchylka měření [%]
	průměrná hodnota		
teplotní senzor SHT21	21,8	-	2,75
teploměr s DS18B20	21,2	0	

Dalším ověřovacím měřením provedeným na zařízení bylo měření přesnosti měření vlhkosti. Vlhkost byla ověřována za pomoci testu, při němž je vloženo zařízení do uzavřené nádoby spolu s nasyceným solným roztokem. Pro solný roztok je využito běžné kuchyňské soli tedy chloridu sodného. Tento roztok v uzavřeném prostoru při teplotě mezi 20 a 25 °C ustálí vlhkost v prostředí po několika hodinách na úrovni 75.2 %RH. Měření bylo opakováno po cca minutě. Výsledek byl zprůměrován a byla určena odchylka od fyzikálně dané hodnoty vlhkosti vzduchu v prostředí. [12]

Tabulka 4 výsledky měření za pomoci solného roztoku senzoru vlhkosti vzduchu

	změřená vlhkost při teplotě 21 °C [% RH]	teoretická hodnota při teplotě 22 °C [% RH]	odchylka měření [%]
vlhkostní senzor SHT21	74,8	75,2	-0,53

ZÁVĚR

Výsledkem této práce je realizace funkčního měřicího zařízení. Toto zařízení umožňuje měření doby vybíjení elektroskopu za pomoci optické detekce výchylky ručičky v krajních bodech výchylky. Detekce ručičky elektroskopu v určených bodech trajektorie pohybu je snímána za pomoci dvojice optických závor tvořených laserovým paprskem a detektorem tohoto paprsku. Přerušení těchto optických závor je zpracováváno s využitím jednodeskového počítače a platformy Arduino. Jednodeskový počítač zajišťuje zpracování signálu z fotodetektorů, na základě nich spouští a zastavuje měření doby průchodu ručičky mezi jednotlivými optickými závorami. Kromě tohoto úkolu zajišťuje ještě měření okolních klimatických podmínek, myšleno teplotu a vlhkost vzduchu v okolí elektroskopu. Poslední úkol jednodeskového počítače je komunikace s počítačovou aplikací, která umožňuje zobrazování a ukládání změřených dat. Data jsou pomocí aplikace ukládána do textového souboru.

Rozdíl mezi zadáním a použitým zařízením je způsob výroby tohoto zařízení. Z důvodu požadavku na minimální ovlivnění elektroskopu během vybíjení bylo nutné zhodnotit, jak je možné ovlivnit elektroskop. A za pomoci experimentu byl vybrán materiál vhodný pro výrobu konstrukce detektoru. Na základě výsledků experimentu bylo zjištěno, že plastické hmoty používané v pro 3D tisk nejsou vhodné pro tento typ zařízení z důvodu možnosti vzniku parazitního náboje, který ovlivní celé vybíjení nebo nabíjení elektroskopu. V rámci experimentu bylo testován materiál ABS a na základě doporučení FR4.

Z toho důvodu a také dobou použitelnosti byla zvolena finální konstrukce z profilovaného hliníku pro základnu která tvoří vodivou část spojenou s obalem elektroskopu se dvěma rameny z FR4 pro optických závor. Ramen jsou pohyblivá pro umožnění dostavení detekční oblasti elektroskopu.

Celé toto zařízení bylo podrobena zkoušce, při kterém bylo ověřeno ovlivnění vybíjení elektroskopu. Toto měření bylo provedeno jako vybíjení elektroskopu, s a bez vybavení měřícím zařízením. Toto měření bylo opakováno celkem 15x. Výsledkem měření bylo zjištění, že doba vybíjení elektroskopu oproti nevybavenému elektroskopu za relativně stejných podmínek je rozdílná o 21 %. tato hodnota je poměrně vysoká, avšak není v ní zohledněno nijak to, že vybíjení elektroskopu může být ovlivňováno množstvím parazitních jevů, které nebyli podchyceny možností snížení vlivu je provedení více měření.

Dále byla ověřena funkce vlhkoměru a teploměru, které měří s odchylkou 2.7 procentního bodu pro měření teploty a 0,5procentního bodu u měření vlhkosti.

LITERATURA

1. VEVERKA, Ing . David. Měření elektrického stavu ovzduší pomocí akumulátorů se specifickou strukturou. Brno, 2017. Pojednání. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. ing. Jiří Háze Ph.d.
2. Wilhelm Reich - selected writings. New York: The Noonday press, 1973. ISBN 0-374-50197-1 Alternative-doctor.com. In: Alternative-doctor.com [online]. Atlanta: Keith Scott–Mumby, 2017, 18.2.2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://alternative-doctor.com/blog/wilhelm-reich-genius-madman/attachment/wilhelm-reich/>
3. Stuff to Blow Your Mind. In: Stuff to Blow Your Mind [online]. Atlanta: Stuff Media, 2016, 18.2.2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.stufftoblowyourmind.com/podcasts/dreams-of-orgonon-sex-storms-death.htm>
4. Halliday - Resnick - Walker: Fyzika. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1869-9
5. Phywe.com. In: Phywe.com [online]. Göttingen, Deutschland: PHYWE Systeme GmbH und Co., 2017, 18.6.2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.phywe.com/en/electroscope-kolbe-type-electrometer.html>
6. Jednocestné optické závory - dosah až 350 m. Automatizace.hw.cz: Jednocestné optické závory - dosah až 350 m [online]. -: hw server, 2006 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006070101>
7. Optické senzory přiblížení - obecný popis. Automatizace.hw.cz: Optické senzory přiblížení - obecný popis [online]. -: HW SERVER, 2005 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
8. Snímače polohy: Optické limitní snímače polohy. Skriptum.wz.cz [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: http://skriptum.wz.cz/autom/poloha_soubory/image063.gif
9. VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina [online]. Bučovice: Martin Stříž, 2015 [cit. 2017-11-26]. ISBN 9788087106907.
10. Makerlab-electronics.com: arduino nano. In: Makerlab-electronics.com: arduino nano [online]. Manila, Venezuela: makerlab electronics, 2017, 12.5.2015 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.makerlab-electronics.com/product/arduino-nano-atmega328p-ch340g/>
11. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. Praha: BEN – odborná literatura, 2004. ISBN 80-7300-110-1 9788073001100.
12. MĚŘENÍ VLHKOSTI: [online]. Brno: VUT Brno, 2004, 12.5.2015 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/.%5Cprojekty_2004%5CStepanek%5Cindex.htm
13. Příklady kapacitních senzorů. In: Příklady kapacitních senzorů [online]. Brno: UMEL VUTBR, 2018 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_4_2.htm

14. Root.cz: Komunikace po sériové sběrnici I2C. In: Root.cz: Komunikace po sériové sběrnici I2C [online]. praha 6: Internet Info, 2009, 8.1.2009 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbernici-isup2supc/>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

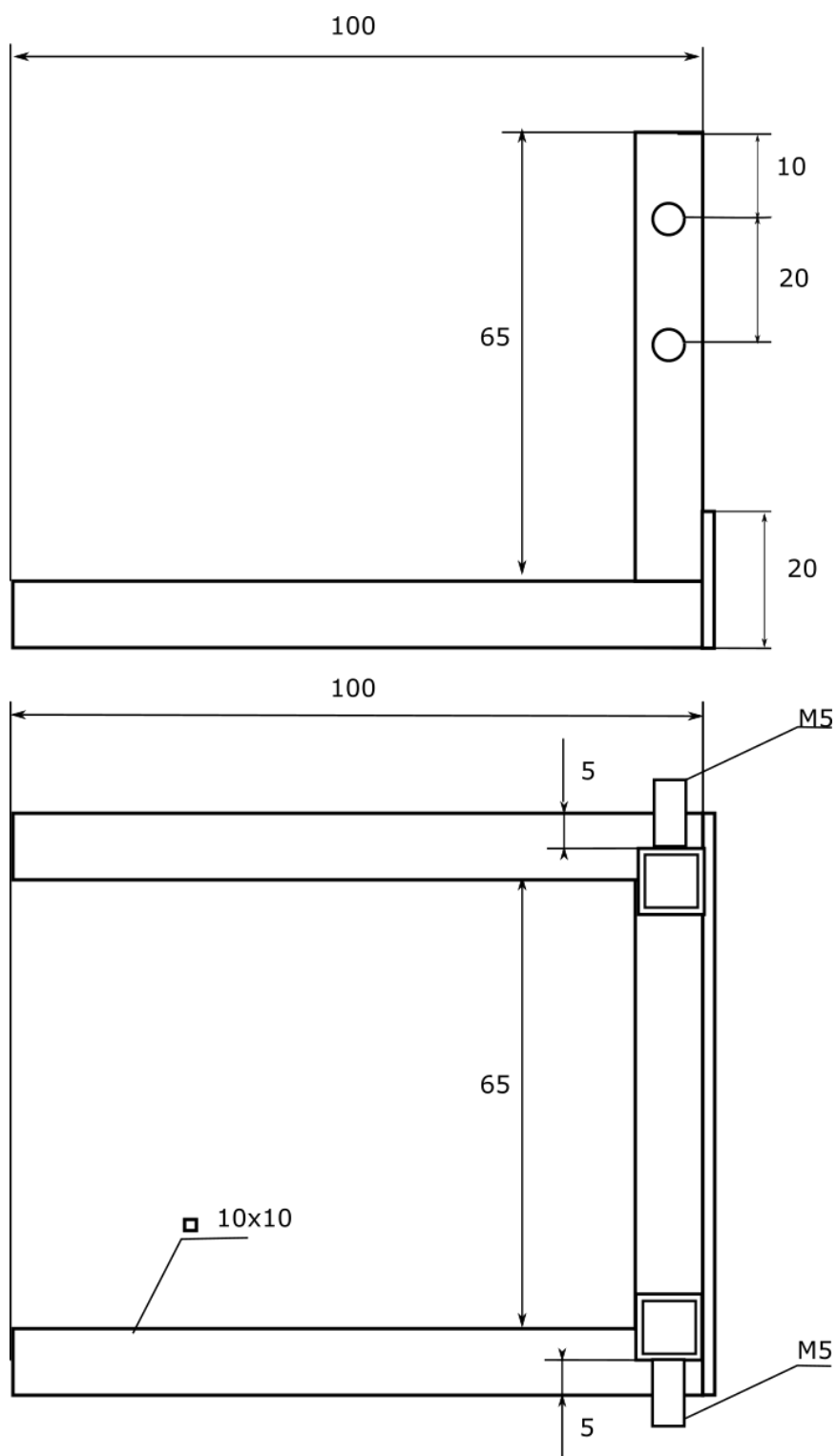
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
I2C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
RH	Relative Humidity (relativní vlhkost)
IDE	Integrated Development Environment
DPS	deska plošných spojů
SMD	surface mounting device

F	síla
E	elektrická intenzita
Q	elektrický náboj
U	elektrické napětí
I	elektrický proud

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Wilhelm Reich [3]	2
Obrázek 2	Orgonová komora [4]	4
Obrázek 3	rozložení sil v elektroskopu běžný stav	6
Obrázek 4	elektroskop s vloženým izolantem	7
Obrázek 5	jednocestná optická závora [8]	8
Obrázek 6	reflexní optická závora [8]	9
Obrázek 7	Arduino Nano [10]	11
Obrázek 8	zobrazení polohy optických závor	12
Obrázek 9	kompletní měřicí zařízení	13
Obrázek 10	blokové schéma zařízení	14
Obrázek 11	laserová dioda	14
Obrázek 12	fototranzistor LTR301	15
Obrázek 13	příklad kapacitního senzoru vlhkosti [13]	17
Obrázek 14	proudový zdroj pro laserové diody	19
Obrázek 15	schéma fotodetektoru	20
Obrázek 16	schematický návrh senzoru vlhkosti a teploty SHT21	20
Obrázek 17	schematický návrh zdroje reálného času	21
Obrázek 18	rozložení komponent a servisního potisku vpravo horní strana DPS vlevo spodní strana DPS	21
Obrázek 19	finální verze DPS horní strana	22
Obrázek 20	osazená DPS komponenty a připojenými senzory fotodetektoru	23
Obrázek 21	diagram základní funkce programu	24
Obrázek 22	blokové schéma funkce měření doby vybíjení	26
Obrázek 23	diagram posloupnosti čítání časových jednotek	27
Obrázek 24	blokové schéma průběhu výměny dat s počítačovou aplikací.	28
Obrázek 25	prostředí Processing IDE	29
Obrázek 26	diagram základní funkce aplikace	30
Obrázek 27	počítačová aplikace	31
Obrázek 28	kompletní měřicí zařízení během měření doby vybíjení	33

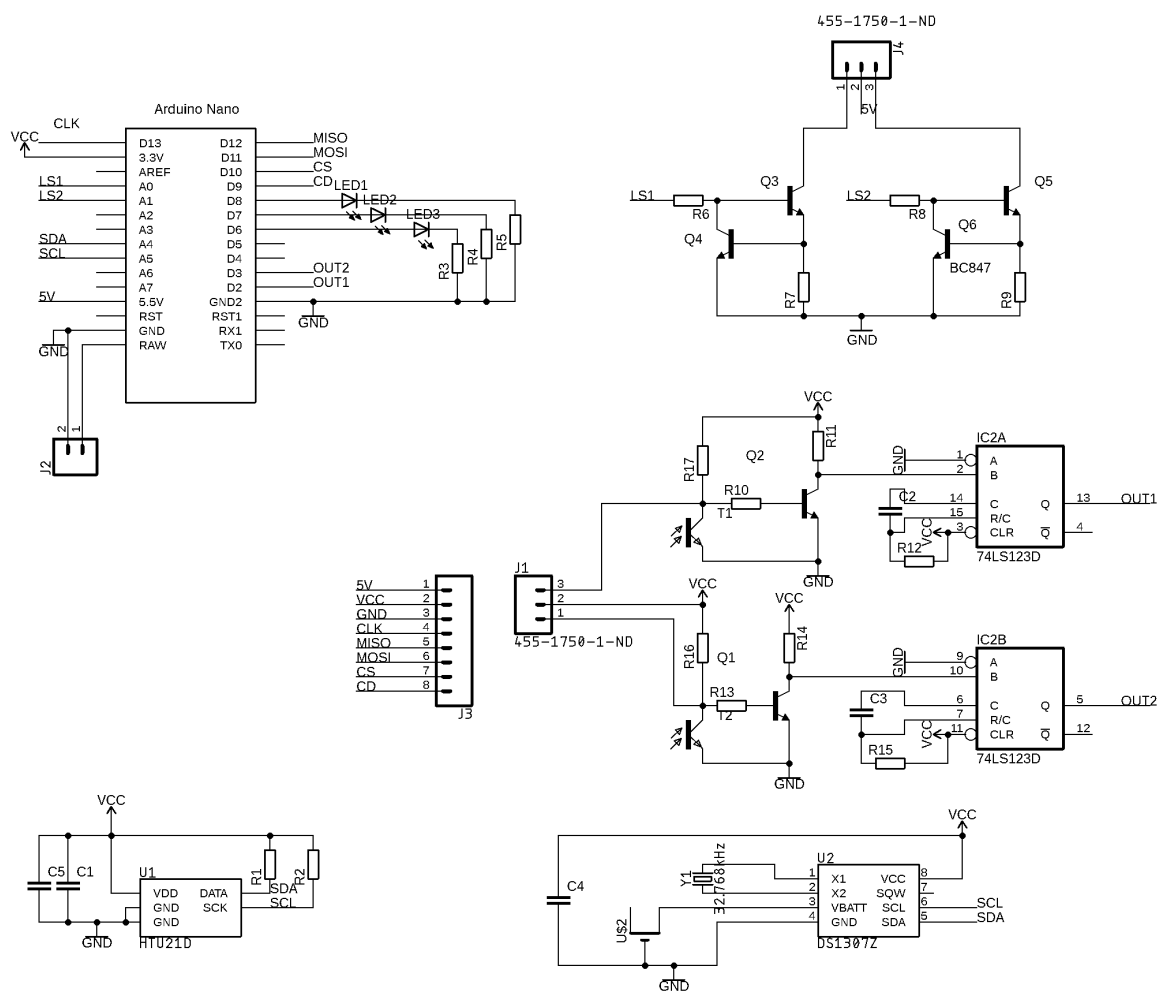
A NÁVRH KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ



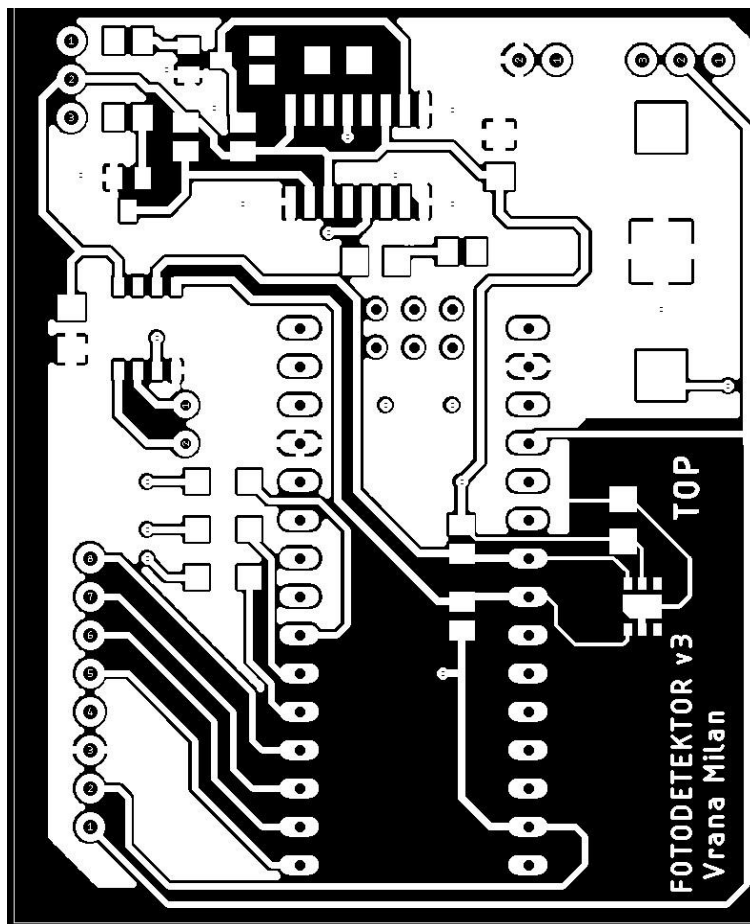
Výkresová dokumentace konstrukce fotodetektoru v měřítku 1:1.

B NÁVRH DPS ŘÍDÍČÍHO MODULU

B.1 Schéma řídicího modulu

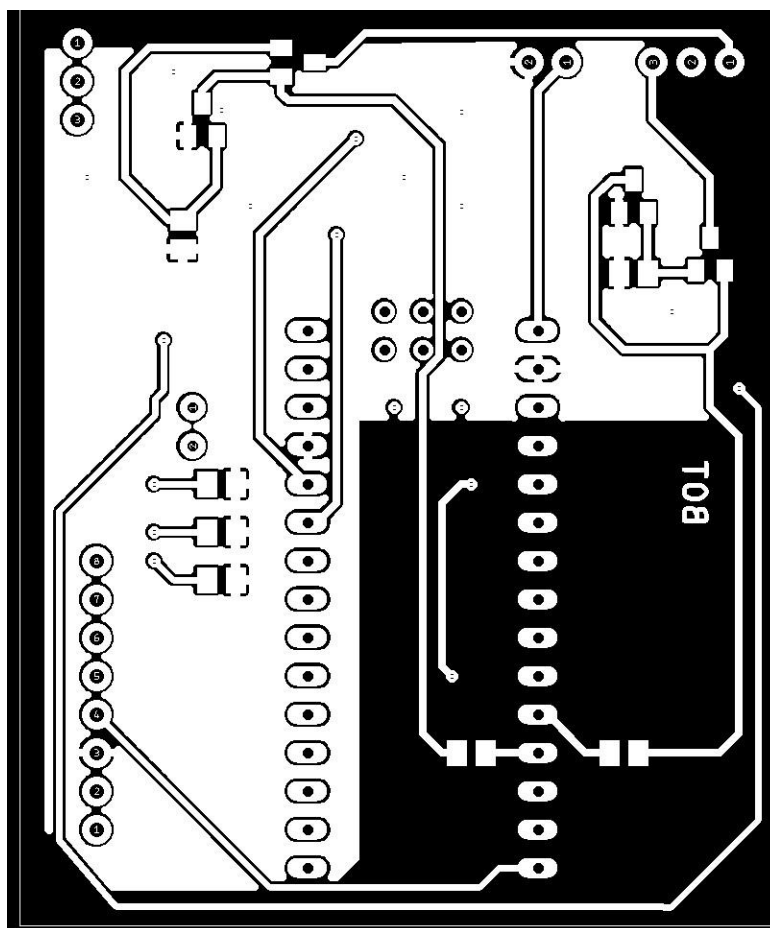


B.2 Deska plošného spoje řídicího modulu – top (strana součástek)



Rozměr desky 61 x 51 [mm], měřítko M2:1

B.3 Deska plošného spoje řídicího modulu – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 61 x 51 [mm], měřítko M2:1

C SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
C2	1uF	C1206	Keramický kondenzátor
C3	1uF	C1206	Keramický kondenzátor
C4	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
C5	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
IC2	74LS123D	SO16	Integrovaný obvod 74ls123d
J1		1X03	Tři pinový konektor
J2		1X02	Dvou pinový konektor
J3		1X08	Osmi pinový konektor
J4		1X03	Tři pinový konektor
LED1	červená	SML1206	Červená led
LED2	červená	SML1206	Červená led
LED3	červená	SML1206	Červená led
Q1	BC847A	SOT23	Tranzistor
Q2	BC847A	SOT23	Tranzistor
Q3	BC847A	SOT23	Tranzistor
Q4	BC847A	SOT23	Tranzistor
Q5	BC847A	SOT23	Tranzistor
Q6	BC847A	SOT23	Tranzistor
R1	1k	M0805	Thin-film resistor
R2	1k	M0805	Thin-film resistor
R3	56R	M0805	Thin-film resistor
R4	56R	M0805	Thin-film resistor
R5	56R	M0805	Thin-film resistor
R6	1k	M0805	Thin-film resistor
R7	56R	M0805	Thin-film resistor
R8	1k	M0805	Thin-film resistor
R9	56R	M0805	Thin-film resistor
R10	1k	M0805	Thin-film resistor
R11	1k	M0805	Thin-film resistor
R12	6,8k	M0805	Thin-film resistor
R13	1k	M0805	Thin-film resistor
R14	1k	M0805	Thin-film resistor
R15	6,8k	M0805	Thin-film resistor
T1	LTR-301	BPX81	Foto tranzistor
T2	LTR-302	BPX81	Foto tranzistor

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
U1	Arduino Nano	2 X 15	Arduino nano
B1	CR1220SMT	CR1220-SMD	Držák pro knoflíkovou baterii
U2	HTU21D	DFN 6	Integrovaný vlhkoměr
U3	DS1307Z	SO8	RTCC
Y1	32.768kHz	PTH-2X6-CYL	Krystal s frekvencí 32,768 kHz

D TABULKA ZMĚŘENÝCH HODNOT MĚŘENÍ VYBÍJENÍ ELEKTROSKOPU

	měření elektroskop		
	bez konstrukce	konstrukce s rameny z FR4	konstrukce z plastu
1	06:41,0	13:20,8	42:53,0
2	09:12,1	11:24,1	35:44,0
3	12:17,1	12:11,3	35:01,0
4	10:58,3	13:11,0	37:39,0
5	14:15,1	14:19,0	32:01,0
6	14:24,3	14:35,0	32:22,0
7	17:28,5	15:01,0	23:17,0
8	15:40,4	16:05,0	56:38,0
9	19:44,2	12:38,0	55:39,0
10	19:24,5	13:54,0	55:51,0
11	19:22,0	19:45,0	55:52,0
12	19:38,4	21:15,0	56:39,0
13	12:18,3	22:47,0	55:14,0
14	21:34,6	22:14,0	55:52,0
15	23:45,8	24:18,0	01:15,0
průměrná doba	10:40,7	12:53,2	36:39,6